คุณภาพน้ำในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำโดยใช้แพลงก์ตอนพืชเป็นดัชนีชี้วัด

รัฐธนานุพนต์ ใจยะเขียว

จักรกฤษณ์ โทจรัญ

การศึกษาอิสระ เสนอเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ธันวาคม 2559

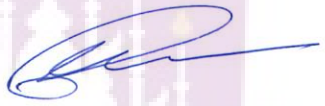
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

คณะกรรมการสอบ อาจารย์ที่ปรึกษาและคณบดีวิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม ได้พิจารณาการศึกษาอิสระ เรื่อง “คุณภาพน้ำในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำโดยใช้แพลงก์ตอนพืชเป็นดัชนีชี้วัด” เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยพะเยา

.....

(ผศ.ดร.รัฐภูมิ พรหมณะ)

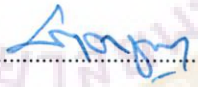
ประธานกรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา



.....

(ดร.เนติ เงินแพทย์)

กรรมการ



.....

(ดร.กฤตชญา อิสกุล)

กรรมการ

.....

(รศ.ดร.วัฒนพงศ์ รักษ์วิเชียร)

คณบดีวิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม

ธันวาคม 2559

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาอิสระเล่มนี้ประสบผลสำเร็จได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.รัฐภูมิ พรหมณะ ที่ได้ให้คำแนะนำ และคำปรึกษาตลอดจนข้อเสนอแนะแนวทางการวิจัย และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนการศึกษาอิสระเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ อ.ดร.เนติ เงินแพทย์ และอ.ดร.กฤตชญา อิสกุล ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการสอบการศึกษาอิสระเล่มนี้พร้อมทั้งชี้แนะ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการจัดทำการศึกษาอิสระเล่มนี้ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ นางทิพวรรณ ทักท้วง นางสาววิภาดา วงค์เรือนแก้ว และนางสาวเมษามาศ ไชยรุ่งเรือง ที่ให้ความช่วยเหลือในการออกภาคสนาม และสถานที่ในการศึกษาค้นคว้าวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณพ่อคุณแม่ ที่คอยอบรมดูแล และให้กำลังใจในการเรียน การทำงาน จนประสบผลสำเร็จในครั้งนี้

คณะผู้วิจัย

ชื่อเรื่อง	คุณภาพน้ำในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำโดยใช้แพลงก์ตอนพืชเป็นดัชนีชี้วัด
ผู้ศึกษาค้นคว้า	รัฐธนานุพนต์ ใจยะเขียว จักรกฤษณ์ โทจรัญ
ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.รัฐภูมิ พรหมณะ
ประเภทสารนิพนธ์	การศึกษาอิสระ วท.บ. สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา, 2559
คำสำคัญ	แพลงก์ตอนพืช, คุณภาพน้ำ, ดัชนีทางชีวภาพ, ระบบบึงประดิษฐ์

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำโดยใช้แพลงก์ตอนพืชเป็นดัชนีชี้วัด ระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม 2559 ซึ่งพบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด ดังนี้ (1) น้ำเสียก่อนเข้าระบบ พบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 4 Divisions 31 genera 64 species โดยแพลงก์ตอนพืชที่มีจำนวนชนิดมากที่สุดคือ Division Chlorophyta 56% และต่ำสุดได้แก่ Division Euglenophyta 9% และ Division Cyanophyta 9% (2) ชุดการทดลองควบคุมไม่มีแพลอยน้ำ พบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 4 Divisions 34 genera 61 species โดยแพลงก์ตอนพืชที่มีจำนวนชนิดมากที่สุดคือ Division Bacillariophyta 49% และต่ำสุดคือ Division Cyanophyta 9% (3) ชุดการทดลองควบคุมมีแพลอยน้ำ พบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 4 Divisions 33 genera 56 species โดยแพลงก์ตอนพืชที่มีจำนวนชนิดมากที่สุดคือ Division Bacillariophyta 41% และต่ำสุดคือ Division Cyanophyta 4% (4) ชุดการทดลองพืชกกลังกา พบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 4 Divisions 33 genera 60 species โดยแพลงก์ตอนพืชที่มีจำนวนชนิดมากที่สุดคือ Division Chlorophyta 44% และต่ำสุดคือ Division Cyanophyta 7% (5) ชุดการทดลองพืชไอริส พบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 4 Divisions 34 genera 61 species โดยแพลงก์ตอนพืชที่มีจำนวนชนิดมากที่สุดคือ Division Bacillariophyta 37% และต่ำสุดคือ Division Cyanophyta 13% คุณภาพน้ำโดยใช้แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นที่พบ โดยวิธี AARL-PP Score จัดอยู่ในระดับ 5.6-7.5 คะแนน บ่งชี้คุณภาพอยู่ในระดับ Meso-eutrophic หรือสารอาหารปานกลางถึงสูง โดยแพลงก์ตอนพืชจีนัส *Scenedesmus* และ *Cyclotella* เป็นจีนัสที่พบมากที่สุดในน้ำเสียก่อนเข้าระบบซึ่งสามารถบ่งชี้สภาพคุณภาพน้ำต่ำได้ นอกจากนี้พบว่าเมื่อวิเคราะห์ข้อมูล

ทางสถิติโดยใช้ Canonical Correspondence Analysis (CCA) เพื่อหาความสัมพันธ์ของแพลงก์ตอนพืชกับคุณภาพน้ำบางประการ สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ (1) กลุ่ม *Euglena* sp.5 *Euglena* sp.6 *Nitzchia palea* *Monoraphidium contortum* และ *Phacus ranula* มีแนวโน้มสัมพันธ์เชิงบวกกับแอมโมเนียไนโตรเจน (2) กลุ่ม *Euglena* sp.7 *Phacus* sp.1 *Phacus* sp.2 *Golenkinia* sp.1 และ *Cosmarium* sp.1 มีแนวโน้มสัมพันธ์เชิงบวกกับ DO และ (3) กลุ่ม *Closteriopsis* sp.2 มีแนวโน้มสัมพันธ์เชิงบวกกับไนโตรเจนรวมและปริมาณของแข็งแขวนลอย

Title Water Quality in Floating Constructed Wetland Systems Using Phytoplankton as Bioindicator

Author Rutthananuphon Jaiyakhiaow
Jakkrit Thocharun

Advisor Asst. Prof. Dr. Rattapoom Prommana

Type of Degree Independent Study B.Sc. (Environmental Science)
University of Phayao, 2015

Keywords Phytoplankton, Water quality, Diversity Index, Constructed wetland system

ABSTRACT

This study aims to study the water qualities from the fish pond in floating constructed wetland system using phytoplankton as bioindicator between January to March 2016 The results showed as the follow, (1) the fish pond wastewater (inflow water to all systems) found that all Phytoplankton were classified into 4 Divisions 31 genera 64 species. The most species number were classified into Division Chlorophyta 56% and the lowest was Division Euglenophyta 9% and Division Cyanophyta 9%. (2) the control treatment was all found 4 Divisions 34 genera 61 species. The most species number were classified into Division Bacillariophyta 49% and the lowest was Division Cyanophyta 9%. (3) the control floating treatment was all found 4 Divisions 33 genera 56 species. The most species number were classified into Division Bacillariophyta 41% and the lowest was Division Cyanophyta 4%. (4) the Umbrella plant treatment was all found 4 Divisions 33 genera 60 species. The most species were classified into Division Chlorophyta 44% and the lowest was Division Cyanophyta 7%. (5) the Iris plant treatment was all found 4 Divisions 34 genera 61 species. The most species number were classicfied into Division Bacillariophyta 37% and the lowest was Division Cyanophyta 13%. Moreover, AARL-PP Score method was applied to measure the quality of water using dominant phytoplanktons which showed the result of water qualities of all samples classified into Meso-eutrophic status. It found that *Scenedesmus* and *Cyclotella* were the most dominat genera in low water quality. According to Canonical

Correspondence Analysis (CCA), the results showed three relation groups between phytoplanktons and water quality parameters as the following, (1) the group of *Euglena* sp.5, *Euglena* sp.6, *Nitzchia palea*, *Monoraphidium contortum* and *Phacus ranula* were positively correlated with ammonia nitrogen. (2) the group of *Euglena* sp.7, *Phacus* sp.1, *Phacus* sp.2, *Golenkinia* sp.1 and *Cosmarium* sp.1 were positively correlated with dissolved oxygen. (3) *Closteriopsis* sp.2 was positively correlated with total nitrogen and suspended solid.

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืช	4
2.2 การใช้แพลงก์ตอนพืชเป็นดัชนีทางชีวภาพ	7
2.3 คุณภาพน้ำและความสัมพันธ์กับแพลงก์ตอนพืช	9
2.4 ปัจจัยทางกายภาพ และเคมีของน้ำบางประการ	13
2.5 การบำบัดน้ำเสียโดยใช้บึงประดิษฐ์	18
3 วิธีดำเนินการวิจัย	21
3.1 การเก็บตัวอย่างน้ำและแพลงก์ตอนพืช	21
3.2 การเก็บตัวอย่างน้ำ	22
3.3 การเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนพืช	24
3.4 เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้	24
3.5 การวิเคราะห์น้ำทางกายภาพและเคมีบางประการ	25
3.6 ศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการที่ห้องปฏิบัติการ	25
3.7 การจัดหมวดหมู่และระบุชนิดของแพลงก์ตอนพืช	26
3.8 การวิเคราะห์ความหลากหลายทางชีวภาพ	26
3.9 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แพลงก์ตอนพืชเป็นดัชนี (AARL PP Score และ Palmer's pollution index)	26
3.10 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	26

บทที่	หน้า
4 ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย	27
4.1 ผลการวิจัยในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ	27
4.1.1 ความหนาแน่นของชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืช	27
4.1.2 รูปแพลงก์ตอนพืชทุกชนิดในดิวิชันต่างๆที่	51
4.2 ดัชนีความหลากหลายของแชนนอน-เวียเนอร์ (Shannon– Wiener's Index)	59
4.3 การประเมินคุณภาพน้ำโดยแพลงก์ตอนพืชชนิดเด่น ด้วยวิธี AARL-PP Score	61
4.4 คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการ	65
4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ Principal Component Analysis (PCA)	74
4.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ Canonical Correspondence Analysis (CCA)	77
5 บทสรุป	80
5.1 สรุปผลการศึกษา	80
5.1.1 สรุปผล	80
5.2 ข้อเสนอแนะ	81
บรรณานุกรม	82
ภาคผนวก	87
ภาคผนวก ก	88
ภาคผนวก ข	97
ภาคผนวก ค	104
ภาคผนวก ง	128
ภาคผนวก จ	133
ภาคผนวก ฉ	136
ประวัติผู้วิจัย	139

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พื้นที่จังหวัดพะเยาประสบกับปัญหามลพิษทางน้ำ ที่สำคัญ คือ ปัญหาคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำกว๊านพะเยาซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญของจังหวัดพะเยาที่มีการเสื่อมโทรมลง หรือคุณภาพน้ำต่ำลง เนื่องจากพื้นที่ต้นน้ำของแหล่งน้ำกว๊านพะเยาส่วนใหญ่ไหลผ่านจากพื้นที่ทางการเกษตรก่อให้เกิดมลสารต่างๆ จากแหล่งกำเนิดที่ไม่ชัดเจน เนื่องจากไม่มีการจัดการคุณภาพน้ำที่ดีก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำจากพื้นที่ทางการเกษตรจึงทำให้สารเคมีต่างๆที่ปนเปื้อน และสิ่งปฏิกูลต่างๆ รวมทั้งเกิดการสะสมของอาหารอินทรีย์ที่เกษตรกรใช้เลี้ยงปลาหรือใช้ในกิจกรรมอื่นๆ ที่ส่งผลให้คุณภาพน้ำเสื่อมลง และเกิดสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชที่สร้างสารพิษ ซึ่งอาจส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และประชาชนที่ใช้น้ำจากแหล่งน้ำนั้นๆ การบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืช ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับความสนใจ และนิยมเพื่อนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียอย่างกว้างขวาง

การบำบัดน้ำเสียโดยใช้บึงประดิษฐ์แบบพืชลอยน้ำ (Floating treatment wetland, FTWs) เป็นแนวทางใหม่สำหรับกำจัดสารอาหารอินทรีย์ในแหล่งน้ำเป็นระบบที่มีความสมดุล และเสถียรของมวลสารภายในระบบ เกิดการหมุนเวียนของธาตุอาหาร และสารต่างๆ นอกจากนี้ บึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำยังมีความยืดหยุ่นต่อความลึกของแหล่งน้ำ ในทางตรงสามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอย สารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้แหล่งน้ำนั้นดีขึ้นในทางอ้อมทำให้เกิดความสมดุลของระบบนิเวศ และสภาพแวดล้อม ซึ่งเป็นแหล่งที่อยู่อาศัย ของสิ่งมีชีวิต อีกทั้งยังเป็นแหล่งพักผ่อนหย่อนใจในการศึกษาทางธรรมชาติ จึงมีการประยุกต์ใช้กับพื้นที่ที่มีการเพาะเลี้ยงปลาได้

แพลงก์ตอนพืชเป็นสิ่งมีชีวิตที่ล่องลอยอยู่ตามแหล่งน้ำที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงเองได้ที่มีบทบาทสำคัญกับมนุษย์ไม่ว่าจะเป็นทางตรงหรือทางอ้อม แพลงก์ตอนพืชหลายชนิดเป็นอาหารโดยตรงของมนุษย์ เช่น พวก blue green algae สกุล *Spirulina* และ green algae สกุล *Scenedesmus* บางชนิดยังพบว่าผลิตสารปฏิชีวนะได้ เช่น *Chlorella* ซึ่งมีสาร Chlorellin โดยทางอ้อมของแพลงก์ตอนพืชเป็นผู้ผลิตที่สำคัญในแหล่งน้ำลำดับแรกของห่วงโซ่อาหาร

ในแหล่งน้ำ การศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับแพลงก์ตอนพืชจะทำให้รู้ถึงชีววิทยาในแหล่งน้ำได้มากขึ้น เช่น บอกถึงผลผลิตของแหล่งน้ำ บอกถึงความอุดมสมบูรณ์ นอกจากนี้แพลงก์ตอนพืชหลายชนิดยังใช้เป็นดัชนีชี้วัดถึงสภาพของแหล่ง

งานวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์ที่จะศึกษาความหลากหลายชนิดของแพลงก์ตอนพืชในบ่อเพาะเลี้ยงปลา ซึ่งมักจะเกิดปรากฏการณ์ ยูโทรฟิเคชั่น (Eutrophication) หรือ Algae bloom ปัญหาเหล่านี้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ และศึกษาประชากรของแพลงก์ตอนพืช ดังนั้นผู้วิจัยเห็นความสำคัญอย่างยิ่งในการติดตาม และหาความสัมพันธ์ระหว่างแพลงก์ตอนพืชกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการป้องกันและการจัดการควบคุมคุณภาพน้ำให้สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างปลอดภัย

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทราบความหลากหลายชนิดของแพลงก์ตอนพืชในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ
2. เพื่อทราบถึงคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แพลงก์ตอนพืชเป็นดัชนีชี้วัดในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการ
2. เก็บตัวอย่างน้ำและแพลงก์ตอนพืช
3. การจัดหมวดหมู่และระบุชนิดของแพลงก์ตอนพืช
4. การวิเคราะห์ความหลากหลายทางชีวภาพ
5. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แพลงก์ตอนพืชเป็นดัชนี (AARL– PP Score)
6. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแพลงก์ตอนพืชและคุณภาพน้ำโดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบความหลากหลายทางชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ
2. ทราบคุณภาพน้ำในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำโดยใช้วิธีทางกายภาพ ทางเคมี และชีวภาพ
3. ทราบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยคุณภาพน้ำต่อชนิด และปริมาณของแพลงก์ตอนพืชในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืช

ระบบนิเวศ (Ecosystem) หมายถึง ความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นของกลุ่มสิ่งมีชีวิตหลายๆกลุ่มกับสิ่งแวดล้อมกลุ่มที่ไม่มีชีวิตที่อยู่ร่วมกันในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง เช่น ระบบนิเวศแหล่งน้ำ ระบบนิเวศทุ่งหญ้า เป็นต้น โดยระบบนิเวศประกอบด้วย กลุ่มสิ่งมีชีวิต และกลุ่มที่ไม่มีชีวิต มีความสัมพันธ์กัน โดยสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศได้แก่ ผู้ผลิต ผู้บริโภค และผู้ย่อยสลาย ผู้ผลิต (Producer) หมายถึง สิ่งมีชีวิตที่สามารถสร้างอาหารเองได้ด้วยตัวเอง ได้แก่ พืชสีเขียว เช่น แพลงก์ตอนพืช สาหร่าย ผู้บริโภค (Consumer) หมายถึง สิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ ได้แก่ มนุษย์ สัตว์ ผู้ย่อยสลาย (Decomposer) หมายถึง สิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ กินอาหารโดยการย่อยสลาย เช่น แบคทีเรีย รา (จันทวัน เบ็ญจวรรณ์, 2555)

สาหร่าย หมายถึง พืชชั้นต่ำที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำเป็นส่วนใหญ่ บางชนิดสามารถอาศัยอยู่บนบกได้ในที่มีความชื้นขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่ายนั้นๆ สาหร่ายมีทั้งที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เรียกสาหร่ายขนาดเล็กเหล่านี้ว่า แพลงก์ตอนพืช เป็นสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในมวลน้ำที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยตัวเอง ล่องลอยไปตามกระแสน้ำ และอีกกลุ่มหนึ่งเป็นสาหร่ายขนาดใหญ่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เป็นสาหร่ายที่ยึดเกาะกับวัตถุต่างๆในแหล่งน้ำ โดยลักษณะทั่วไปของสาหร่ายขนาดใหญ่นั้นมีส่วนคล้าย ลำต้น ราก ใบ ที่เรียกว่า ทัลลัส สาหร่ายยังมีความสำคัญ คือเป็นพืชน้ำที่สามารถนำมาเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพของแหล่งน้ำได้ สาหร่ายในภาษาอังกฤษคือ algae และตรงกับภาษากรีก คือ phykos เป็นสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำ ที่มีขนาดเล็กจนไปถึงขนาดใหญ่ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีลักษณะเหมือนลำต้นราก และใบ เรียกรวมกัน คือ ทัลลัส (thallus) (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2546) ซึ่งสาหร่ายอาจมีรูปร่างเป็นเส้นสายทั้งที่แตกแขนง และทั้งที่ไม่แตกแขนง ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว หรือหลายเซลล์รวมกันเป็นกลุ่มเรียกว่าโคโลนี ในธรรมชาติจะพบสาหร่ายได้ทั่วไป ทั้งในน้ำจืด ทะเลสาบ ทะเล มหาสมุทร สระน้ำ ในดินแฉะ บนหิน สาหร่ายพวกที่ล่องลอยอยู่ในน้ำ (Plankton) มักเป็นอาหารที่สำคัญของสัตว์น้ำอื่นๆ (ธิดารัตน์ ศรีสว่าง, 2554) ดังนั้นในการจัดจำแนกสาหร่าย ยึดตาม (Bold Wynne, 1978) ซึ่งจำแนกสาหร่ายทั้งหมดออกเป็น 9 ดิวิชั่น ดังนี้

1. Division Cyanophyta (สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน) สาหร่ายกลุ่มนี้มีความคล้ายคลึงกับแบคทีเรีย และมีกำเนิดมาก่อนสาหร่ายกลุ่มอื่นๆ พบได้ในน้ำจืด น้ำกร่อย น้ำเค็ม ทั้งในน้ำที่มีคุณภาพดีและไม่ดี พบได้ทั้งในดินและผิวดิน แม้แต่ในหิมะหรือน้ำพุร้อน หรือในที่ที่มีความชื้น เรียกสาหร่ายประเภทนี้ว่า ตะไคร่น้ำ สาหร่ายพวกที่ดำรงชีวิตแบบแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำจืดทั่วไป บางชนิดอาจเจริญและเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วในแหล่งน้ำที่มีสารอาหารสูงหรือสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมแล้วสร้างสารพิษออกมาซึ่งก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำบริเวณนั้น

2. Division Pyrrhophyta (สาหร่ายไดโนแฟลเจลเลต) มีการดำรงชีวิตแบบแพลงก์ตอนพืชทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม มีแฟลเจลลัม 2 เส้นช่วยในการเคลื่อนที่ เซลล์มักมีเยื่อหุ้มเซลล์เป็นแผ่นธีกาคลุมอยู่ บางครั้งมีการเจริญอย่างรวดเร็วในน้ำทะเล ทำให้ผิวหน้าน้ำทะเลเป็นสีแดงและน้ำตาล เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ขี้ปลาวาฬ หรือ เรดไทด์ (red tide) บางชนิดสร้างสารพิษที่มีผลต่อระบบประสาท

3. Division Cryptophyta (สาหร่ายคริปโตโมแนดส์) ดำรงชีวิตแบบแพลงก์ตอนพืชในน้ำจืดและน้ำเค็ม เป็นสาหร่ายที่มีสมาชิกน้อยที่สุด มีแฟลเจลลัม 2 เส้นที่มีขนาดไม่กัน

4. Division Chlorophyta (สาหร่ายสีเขียว) มีรูปร่างหลากหลายตั้งแต่เซลล์เดี่ยว เซลล์เดียวเกาะกันเป็นกลุ่มที่เรียกว่าโคโลนี เป็นเส้นสาย เป็นทัลลัส พบเห็นในแหล่งน้ำทั่วไป ส่วนใหญ่ดำรงชีวิตแบบแพลงก์ตอนพืช แต่มีบางชนิดเป็นสาหร่ายยึดเกาะ หินใต้ดิน หรือพืชน้ำ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายขนาดใหญ่

5. Division Charophyta (สาหร่ายไฟ) มีลักษณะคล้ายพืชชั้นสูง เจริญโดยยึดเกาะกับพื้นดินใต้ท้องน้ำ มีทัลลัสขนาดใหญ่คล้ายสาหร่ายหางกระรอก บางชนิดมีแคลเซียมเป็นส่วนประกอบในทัลลัส ส่วนใหญ่ทั้งหมดเป็นสาหร่ายน้ำจืด

6. Division Euglenophyta (สาหร่ายยูกลีนอยด์) สามารถเจริญได้ดีในน้ำที่มีสารอินทรีย์สูง หรือคุณภาพน้ำไม่ดีมากกว่าสาหร่ายประเภทอื่นๆ จึงเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำที่ค่อนข้างสกปรกได้ชัดเจน ทุกชนิดมีแฟลเจลลัมช่วยในการเคลื่อนที่ มีการดำรงชีวิตแบบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด

7. Division Phaeophyta (สาหร่ายสีน้ำตาล) ส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายทะเล มีทัลลัสขนาดใหญ่ โดยทั่วไปจะยึดเกาะอยู่กับพื้นทรายใต้ท้องทะเล หรืออาจหลุดลอยมากับกระแสน้ำ ในเขตอบอุ่น เป็นสาหร่ายที่สามารถนำมาสกัดสารอัลจิน หรืออัลจิเนตที่ใช้ในวงการอุตสาหกรรมที่สำคัญหลายประเภท

8. Division Chrysophyta (สาหร่ายคริสโซไฟต์) ส่วนใหญ่ดำรงชีวิตแบบแพลงก์ตอนพืช สาหร่ายในกลุ่มสมาชิกที่มีมากที่สุดคือ ไดอะตอม นักสาหร่ายวิทยาปัจจุบันได้แยกออกเป็นดิวิชั่นใหม่ คือ Division Bacilariophyta มีลักษณะสำคัญคือ เซลล์ประกอบด้วยฝาหรือฟรัสตูล 2 ฝาประกบกัน ส่วนใหญ่เป็นซิลิกามีลวดลายสวยงาม มองเห็นเซลล์เป็นสีน้ำตาล เนื่องจากมีรงควัตถุสีน้ำตาลมากกว่าคลอโรฟิลล์ พบได้ทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม มีการดำรงชีวิตทั้งเป็นแบบแพลงก์ตอนพืช และสาหร่ายที่เกาะอยู่กับสิ่งยึดเกาะใต้พื้นท้องน้ำ

9. Division Rhodophyta (สาหร่ายสีแดง) มีทัลลัสคล้ายพุ่มไม้ที่แตกแขนงเป็นฝอย เจริญอยู่บนผิวดิน ทราย หรือหิน พบในน้ำจืดและน้ำเค็ม แต่ส่วนใหญ่จะพบในน้ำเค็ม สาหร่ายกลุ่มนี้ถือว่าเป็นสาหร่ายเศรษฐกิจที่สำคัญ โดยนำมาสกัดวุ้นซึ่งนำมาใช้เป็นอาหารและใช้ในด้านอุตสาหกรรมหลายประเภท (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2546)

คำว่า plankton “แพลงก์ตอน” ได้มีการตั้งชื่อโดยนักแพลงก์ตอนวิทยาชาวเยอรมัน ชื่อ Victor Hensen ในปี ค.ศ. 1871 (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2542) แพลงก์ตอนยังแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่ม คือ แพลงก์ตอนสัตว์ และแพลงก์ตอนพืช โดยแพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton) นั้นยังสามารถสังเคราะห์แสงเองได้ และเป็นผู้ผลิตลำดับแรกในระบบนิเวศของแหล่งน้ำ และเป็นอาหารของผู้บริโภคในลำดับต่างๆ ได้แก่ แพลงก์ตอนสัตว์หรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่กินแพลงก์ตอนพืชเป็นอาหาร (ภัทราวดี ชัยนันต๊ะ, 2554) เนื่องจากแพลงก์ตอนพืชมีแหล่งที่อยู่อาศัยที่มีความจำเพาะแตกต่างกัน และช่วงของความทนต่อสภาพสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งจะสะท้อนให้เห็นว่าการกระจายตัวของแพลงก์ตอนพืชที่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพน้ำที่แพลงก์ตอนพืชอาศัยอยู่ ในแหล่งน้ำในที่ต่างกันจึงมีสาหร่ายแต่ละชนิดเจริญเติบโตไม่เหมือนกัน จึงถือได้ว่าเป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพ และสามารถบ่งชี้คุณภาพน้ำได้ว่าแหล่งน้ำนั้นมีลักษณะเป็นอย่างไร

2.2 การใช้แพลงก์ตอนพืชเป็นดัชนีทางชีวภาพ

(Palmer, 1969) ได้ทำการศึกษาค้นคว้าแพลงก์ตอนพืช พบว่าแพลงก์ตอนพืชสามารถใช้เป็นเครื่องมือที่เชื่อถือได้สำหรับติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำเพื่อประเมินระดับมลพิษของน้ำ ซึ่งสาหร่ายที่ทนมลพิษอินทรีย์และตามแหล่งที่อยู่อาศัยออกเป็น 60 genera และ 80 species ระดับดัชนีมลพิษขึ้นอยู่กับประเภทสาหร่ายที่จะใช้ในตัวอย่างน้ำที่มีการปนเปื้อนแหล่งน้ำอินทรีย์จากคะแนนสูงไปต่ำ ดัชนีมลพิษคะแนนมากกว่า 20 บ่งชี้ว่ามลพิษอินทรีย์สูง 19-15 คะแนน บ่งบอกถึงความน่าจะเป็นมลพิษอินทรีย์และน้อยกว่า 15 คะแนนบ่งชี้มลพิษอินทรีย์น้อย

(ธงชัย แก้ววิเชียร, 2552) ได้ทำการศึกษาความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืช และการประเมินคุณภาพของแหล่งน้ำในพื้นที่โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช อันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพพระรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารีในแหล่งน้ำของมหาวิทยาลัยนเรศวรพะเยา ปี 2550- 2551 จากการศึกษาความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืช พบแพลงก์ตอนพืช ทั้งหมด 5 Divisions 41 Genera 41 Species โดยแพลงก์ตอนที่มีจำนวนชนิดมากที่สุดคือ Division Chlorophyta รองลงมาคือ Division Cyanophyta Division Cryptophyta Division Euglenophyta และ Division Pyrrhophyta และเมื่อประเมินคุณภาพน้ำโดยใช้แพลงก์ตอนพืชตามวิธี AARL-PP Score พบว่าคุณภาพน้ำในแหล่งที่ 1 และ 4 มีการเปลี่ยนแปลงที่ต่ำลง และแหล่งที่ 2 และ 3 มีคุณภาพน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งจัดอยู่ในระดับที่มีสารอาหารสูง

(ณัฐพล ชาวสวน, เบญจมาภรณ์ รุจิตร และวลีวรรณ แฉ่งประเสริฐ 2553) ได้ทำการศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของแพลงก์ตอนพืช และสาหร่ายที่ยึดเกาะกับพืชน้ำ และความสัมพันธ์กับคุณภาพน้ำในพื้นที่พิพิธภัณฑ์บัว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พ.ศ. 2552-2553 พบแพลงก์ตอนพืช ทั้งหมด 7 ดิวิชัน 60 สปีชีส์ แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่น คือ *Cylindrospermopsis raciborskii* (Wolosz) Seenayya &Subba รองลงมาคือ *Gymnodinium* sp. *Pseudanabaena limnetica* (Lemmermann) Komárek *Pseudanabaena galeata* Böcher และ *Peridiniopsis* sp.1 ตามลำดับ และเมื่อประเมินคุณภาพน้ำโดยใช้แพลงก์ตอนพืชที่เป็นชนิดเด่นเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำตาม AARL-PP Score พบว่าน้ำในพื้นที่พิพิธภัณฑ์บัว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อยู่ในระดับปานกลาง (Mesotrophic status) จนถึงระดับคุณภาพน้ำปานกลางถึงไม่ดี (Meso eurtophic status)

(ทัศนีย์ โนจิตร, 2554) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแพลงก์ตอนพืชแพลงก์ตอนสัตว์ และคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำชั่วคราวขนาดเล็กของมหาวิทยาลัยพะเยา ในปี พ.ศ. 2553-2554 จากการศึกษาชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืช พบแพลงก์ตอนพืช ทั้งหมด 4 Divisions 14 Genera 42 Species โดยแพลงก์ตอนที่มีจำนวนชนิดมากที่สุดคือ Division Bacillariophyta ลำดับต่อมาคือ Division Euglenophyta, Division Chlorophyta และ Division Cyanophyta และจากการศึกษาชนิด และปริมาณของแพลงก์ตอนสัตว์ พบแพลงก์ตอนสัตว์ ทั้งหมด 4 Phylum 13 Species 6 Genera โดยแพลงก์ตอนสัตว์ที่มีจำนวนชนิดมากที่สุดคือ Phylum Protozoa รองลงมาคือแพลงก์ตอนสัตว์ใน Phylum Artropoda, Phylum Rotifera และแพลงก์ตอนสัตว์ที่พบชนิดน้อยที่สุดคือ Phylum Sarcomastigophora และเมื่อประเมินคุณภาพน้ำโดยใช้แพลงก์ตอนพืชตามวิธี AARL-PP Score พบว่าคุณภาพน้ำโดยรวมจัดอยู่ในระดับสารอาหารสูง Eutrophic เนื่องจากมีชนิดของแพลงก์ตอนที่สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพน้ำค่อนข้างไม่ดี มีสารอาหารสูง

(ศศิธร โครงสร้อย, 2555) ได้ศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพน้ำในกว๊านพะเยาโดยใช้แพลงก์ตอนพืชเป็นดัชนีทางชีวภาพ ปี พ.ศ. 2554-2555 พบว่าเมื่อประเมินคุณภาพน้ำโดยใช้วิธี AARL PP Score แล้วพบว่าคุณภาพน้ำในกว๊านพะเยาจัดอยู่ในระดับ Mesotrophic คุณภาพน้ำปานกลาง และเมื่อประเมินคุณภาพน้ำโดยใช้วิธี AARL-PC Score พบว่าคุณภาพน้ำในกว๊านพะเยาจัดอยู่ในระดับ Oligotrophic mesotrophic คุณภาพน้ำดีปานกลาง

(คณิน ศรีรัตน์, จาริยา สุขศรี และจุฑาทิพย์ หงสกุล 2555) ได้ทำการศึกษาความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืช และคุณภาพน้ำในสระมรกตของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม 2554 พบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมดรวม 7 ดิวิชั่น 31 สปีชีส์ โดยสาหร่ายดิวิชั่นเด่นที่พบคือ Euglenophyta Chlorophyta Cyanophyta, และ Pyrrophyta พบแพลงก์ตอนพืชชนิดที่เด่น คือ *Cylindrospermopis raciborskii* (Wolose) Seenayya & Subba, *Euglena acus* Ehrenberg nach Skuja, *Cylindrospermopis philippinensis* (Taylor) Komárek, *Planktolyngbya contorta* (Lemmermann) Anagnostidis & Komárek และ *Monoraphidium contortum* (Thuret) Komàrková-Legnerová เมื่อได้ประเมินคุณภาพน้ำโดยใช้แพลงก์ตอนพืชชนิดที่เด่นตาม AARL-PP Score พบว่าคุณภาพน้ำจัดอยู่ในระดับสารอาหารปานกลางถึงสูง

(Kshirsagar, 2013) ได้ทำการศึกษาค้นคว้าคุณภาพน้ำโดยใช้สาหร่ายเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำในแม่น้ำมูล่าเมืองปูเน่ รัฐมหาราษฏระ (อินเดีย) ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2007 ถึงเดือนกันยายน 2008 รวม 162 สปีชีส์ 75 สกุล จากผลการศึกษาคุณภาพน้ำจากดัชนีมลพิษของปาล์มเมอร์ พบว่า สถานีที่ 1, 2 และ 3 มีคะแนน 19, 37 และ 42 ตามลำดับ จากคะแนนรวมแต่ละสถานีบ่งบอกว่ามีมลพิษอินทรีย์สูง โดยที่สถานีที่ 2 และ 3 สูงกว่าสถานีที่ 1

(สุริยะ จันทร์แก้ว, สุมาลี เลี่ยมทอง, โสภนา วงศ์ทอง, มัณฑกา วีระพงษ์, ดำรงพันธ์ ใจห้าววีระพงษ์, วิชิต จรุงสุจริตกุล และคณะ 2557) ได้ทำการศึกษาป่าสาคู และความหลากหลายทางชีวภาพในแหล่งน้ำของจังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่ามีแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 3 ดิวิชั่น จำนวน 21-32 สกุล และ 22-28 สกุล ในฤดูร้อนและฤดูฝน ตามลำดับ โดยกลุ่มเด่นทั้ง 2 ฤดู คือ วงศ์ Euglenaceae สำหรับดัชนีความหลากหลายในฤดูร้อน และฤดูฝนมีค่า 2.13-2.85 และ 2.1-2.68 ตามลำดับ การประเมินคุณภาพน้ำในพื้นที่ป่าสาคูโดยใช้แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นตาม AARL-PP Score และจัดตามระดับความมากน้อยของสารอาหารโดยใช้วิธี AARL-PC Score พบว่าน้ำในพื้นที่ป่าสาคูส่วนใหญ่อยู่ในระดับปานกลางจนถึงสูง

(Dhrubajyoti Baruah, 2014) ได้ทำการศึกษาโดยใช้แพลงก์ตอนพืชเพื่อประเมินคุณภาพน้ำในบ่อพิธีกรรมในรัฐอัสสัมตอนเหนือ จากการประเมินคุณภาพน้ำโดยใช้ดัชนีมลพิษของปามเมอร์ พบว่าคะแนนรวมได้ 28 คะแนน สถานะของคุณภาพน้ำในบ่อพิธีกรรมจัดอยู่ในสถานะมลพิษอินทรีย์สูง

2.3 คุณภาพน้ำและความสัมพันธ์กับแพลงก์ตอนพืช

(นพรัตน์ ฤาชา, 2528) ได้ทำการศึกษาและสำรวจแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำกว๊านพะเยา พบว่าในแต่ละฤดูนั้นมีชนิด และปริมาณของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำกว๊านพะเยาที่แตกต่างกันออกไป เช่น ฤดูฝนจะพบแพลงก์ตอนพืชกลุ่มสาหร่ายสีเขียว กลุ่มยูกลีนอยด์และกลุ่มของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ฤดูหนาวพบแพลงก์ตอนพืชที่อยู่ในกลุ่มไดโนแฟลกเจลเลตและกลุ่มสาหร่ายสีทองมากกว่ากลุ่มอื่น ในฤดูร้อนพบว่ามีแพลงก์ตอนพืชที่อยู่ในกลุ่มสาหร่ายสีเขียวมากกว่ากลุ่มอื่นๆ แต่ไม่มีกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเด่นขึ้นมาโดยเฉพาะการหมุนเวียนของน้ำจะช่วยทำให้สารอาหารในน้ำกระจายได้ทั่วถึง การที่น้ำไหลผ่านประตูน้ำออกมาก็จะเป็นสาเหตุทำให้น้ำเกิดการไหลเวียนมีผลทำให้แพลงก์ตอนพืชกระจายหรือมีการเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละฤดูได้ต่างกัน

(ยุวดี พีรพรพิศาล และวันชัย สนธิไชย, 2541) ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำ การกระจายและผลผลิตเบื้องต้นของแพลงก์ตอนพืช ในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดมธารา จ.เชียงใหม่ พบว่าโดยทั่วไปคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวง เมื่อแบ่งตามมาตรฐานคุณภาพน้ำจืดผิวดิน อยู่ในประเภท 2-3 เหมาะที่จะนำมาใช้ประโยชน์เพื่อการอุปโภคบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยทั่วไปก่อน แต่ถ้าจัดตามระดับสารอาหารจัดอยู่ในประเภท Mesotrophic จนถึง Eutrophic reservoie มีการเพิ่มปริมาณอย่างมากของแพลงก์ตอนพืช *Microcystis aeruginosa Kutz* ซึ่งสร้างสารพิษ ไมโครซีสติน ประเภท Endotoxin ตลอดการวิจัย จะเป็นอุปสรรคในการนำน้ำมาผลิตน้ำประปา การเพิ่มปริมาณอย่างมากของ *Microcystis aeruginosa* มีความสัมพันธ์ในเชิงลบหรือแปรผกผันกับระดับน้ำและปริมาตรน้ำในอ่างเก็บน้ำซึ่งจะโยงมายังความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณสารอาหารประเภทฟอสฟอรัสด้านการศึกษาแพลงก์ตอนพืชพบทั้งหมด 122 ชนิด กลุ่มที่พบจำนวนชนิดมากที่สุดคือ *Chlorophyceae* รองลงมาคือ *Zygnemaphyceae, Diatomphyceae, Cyanophyceae Euglenophyceae, Crytophyceae, Dinophyceae* และ *Xanthophyceae* ตามลำดับ แต่ชนิดเด่นคือ *Microcystis aeruginosa* Kutz. ซึ่งเป็นชนิดที่สามารถใช้เป็นดัชนีชี้คุณภาพน้ำประเภท Eutrophic Status

(โฉมยง ไชยอุบล, 2541) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำกับการกระจายของแพลงก์ตอนพืช และแพลงก์ตอนสัตว์ในอ่างเก็บน้ำอ่างแก้ว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปี 2540-2541 พบว่าคุณภาพน้ำในอ่างแก้วมีการปนเปื้อนของสารจากแหล่งชุมชนและสวนสัตว์สูงกว่าปีที่ผ่านมา เมื่อจัดคุณภาพน้ำตามความมากน้อยของสารอาหารอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างมาก (Mesotrophic - eutrophic reservoir) คุณภาพน้ำจัดเป็นแหล่งน้ำประเภท 2 ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำจืดผิวดิน และจากการศึกษาการกระจายของแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ พบแพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นที่สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำได้ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ดี คือ *Euglena acus* ซึ่งบ่งชี้คุณภาพน้ำไม่ดีโดยมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนส่วน *Peridiniopsis limnetica Aulacoseira granulata Trachelomonas volvocina* บ่งชี้คุณภาพน้ำปานกลาง และ *Trachelomonas volvocina* มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณ soluble reactive phosphorus และ *Aulacoseira granulata* มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณไนเตรท ไนโตรเจน ทางด้านแพลงก์ตอนสัตว์พบกลุ่มของโรติเฟอร์มากที่สุด ซึ่งชนิดเด่นคือ *Polyartha vuldaris* สำหรับการใช้แพลงก์ตอนสัตว์เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำนั้นยังไม่ชัดเจนนัก ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์นั้นจะพบว่ามีความสัมพันธ์กันลักษณะ cyclic equlibrium ในแบบห่วงโซ่อาหาร

(ทวีศักดิ์ ขวัญไตรรงค์, 2548) ได้ทำการศึกษาค้นคว้าคุณภาพน้ำ และศึกษาความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชในทะเลสาบดอยเต่า จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าคุณภาพน้ำในดอยเต่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนตามฤดูกาล และคุณภาพน้ำในดอยเตาจะมีปัญหาในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน เนื่องจากมีตะกอนแขวนลอยในน้ำค่อนข้างสูง ความสัมพันธ์ระหว่างสาหร่ายกับคุณภาพน้ำและโลหะหนักนั้น พบว่า ปริมาณสาหร่ายในแต่ละเดือนมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับความกระด้างของน้ำ ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และคลอโรฟิลล์เอ

(พงศ์เชฏฐ์ และยนต์ มุสิก, 2548) ได้ทำการศึกษาค้นคว้าคุณภาพน้ำในกว๊านพะเยา พบว่าคุณภาพน้ำในกว๊านพะเยา ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม – สิงหาคม 2546 พบว่าความขุ่นของน้ำอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งความขุ่นส่วนใหญ่เกิดจากแพลงก์ตอนพืช น้ำในกว๊านพะเยามีค่าความเป็นด่าง และความกระด้างของน้ำที่ค่อนข้างต่ำ จึงจัดเป็นประเภทน้ำอ่อน โดยมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำส่วนใหญ่ต่ำกว่าเกณฑ์ คุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำและเกณฑ์มาตรฐานของแหล่งน้ำผิวดินประเภท 2 ค่าบีโอดีของน้ำส่วนใหญ่ เกินเกณฑ์มาตรฐานของแหล่งน้ำผิวดินประเภท 2 ซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถใช้ประโยชน์เพื่อการอุปโภค บริโภค การประมง การอนุรักษ์สัตว์น้ำ การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ ซึ่งน้ำในบริเวณที่อยู่ใกล้ชุมชนและมีการถ่ายเทของน้ำน้อย มีค่าบีโอดีสูง ซึ่งชี้ให้เห็นถึงการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ที่มีอยู่มากในน้ำ ค่าแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟตส่วนใหญ่มีค่าต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากมีการใช้ธาตุอาหารต่าง ๆ โดยแพลงก์ตอนพืชและพันธุ์ไม้น้ำมีอยู่ในปริมาณมากในกว๊านพะเยา

(แสงอรุณ เนื่องสิทธิ จารึก นาชัยเพิ่ม, 2548) ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำและแพลงก์ตอนในแม่น้ำชี ตั้งแต่บริเวณต้นแม่น้ำชี ที่บ้านท่าแก อำเภอบ้านเขว้า จังหวัดชัยภูมิ ถึงบริเวณตอนปลายแม่น้ำชี ที่บ้านแดงหม้อ อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานีโดยการเก็บตัวอย่างน้ำและแพลงก์ตอนทั้งหมด 6 จุดเก็บสำรวจ รวม 3 ครั้ง ได้แก่ เดือนพฤษภาคม พฤศจิกายน 2544 และกุมภาพันธ์ 2545 ข้อมูลที่ได้นำไปวิเคราะห์ และประเมินด้วยค่าดัชนีชี้วัดทางนิเวศวิทยาของสิ่งมีชีวิต และการวิเคราะห์ทางสถิติแบบหลายตัวแปร (multivariate) ของวิธีวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (cluster) และการจัดลำดับ (odination multi –dimention scaling)ผลการศึกษาพบว่าคุณภาพน้ำของแม่น้ำชี อยู่ในเกณฑ์คุณภาพที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ในชนิด และปริมาณแพลงก์ตอนที่พบทั้งหมด 120 สกุล ได้แก่ แพลงก์ตอนพืช 82 สกุล ปริมาณเฉลี่ย 31,458.9 x 10^{3} หน่วยต่อลูกบาศก์เมตร แพลงก์ตอนสัตว์ 38 สกุล ปริมาณ

เฉลี่ย 14.2 x 10^3 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ค่าดัชนีชี้วัดความหลากหลายและความเท่าเทียมเฉลี่ยเท่ากับ 2.79+0.32 และ 0.512+0.06 ตามลำดับ การจัดกลุ่มความคล้ายคลึงกับคุณภาพน้ำตามจุดสำรวจ และเดือนที่สำรวจ ในช่วงน้ำน้อย และช่วงน้ำมากโดยแบ่งได้ 3 กลุ่ม ได้แก่ ช่วงน้ำเริ่มลดแบ่งได้ 4 กลุ่ม ผลในการวิเคราะห์ด้วยวิธี species abundancedistribution ของการแพร่กระจายของชนิด และปริมาณแพลงก์ตอนดีที่สุดในบริเวณบ้านท่าแก อำเภอบ้านเขว้า จังหวัดชัยภูมิ บ้านแดงหม้อ อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี บ้านหนองยาง อำเภอมหาชนะชัย จังหวัดยโสธร และในเดือนที่สำรวจ คือ เดือนพฤศจิกายน 2544 คุณภาพน้ำ และแพลงก์ตอนพืชไม่มีความสัมพันธ์กันในแม่น้ำชี

(เฉลิมชัย อยู่สำราญ, อรรถวุฒิ กันทะวงศ์ และสาโรจน์ เริ่มดำริห์, 2549) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำ และแพลงก์ตอนพืชบริเวณอ่าวศรีราชา จังหวัดชลบุรี ทำการเก็บตัวอย่าง 4 ครั้ง ได้แก่ ก่อนฤดูฝน กรกฎาคม 2547 ช่วงฤดูฝน ตุลาคม 2547 ช่วงฤดูหนาว มกราคม 2548 ช่วงฤดูร้อน เมษายน 2548 พบแพลงก์ตอนพืช 3 Divition รวม 53 สกุล โดยมีแพลงก์ตอนพืชในสกุลเด่น คือ *Chaetoceros, Rhizosolenia, Bacteriastrum, Pseudonitzchia, Thalassionema* และ *Gymnodoinium* พบว่าปริมาณแพลงก์ตอนพืชมีความสัมพันธ์กับค่า ความเค็ม ค่าแอมโมเนีย ความเป็นกรด-ด่าง คลอโรฟิลล์เอ ปริมาณ-ไนเตรท และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

(ลักษมณ ทองอินทร์, ดร.จินดาวัลย์ วิบูลย์อุทัย, ดร.สุรชัย อังคนาสายัณห์, 2554) ได้ทำการศึกษาวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ถึงประสิทธิภาพของพืชธูปฤาษี และกกกลม ในการบำบัดน้ำเสียของชุมชนโดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านลำต้น (Constructed Wetland) ใช้น้ำเสียของชุมชนบ้านเว๊ะที่ถูกปล่อยลงสู่ลำคลองบ้านนามาใช้ในการทดลอง โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของต้นธูปฤาษีปลูกรวมกับต้นกกกลมที่มีระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน โดยศึกษาคุณภาพเคมีบางประการ ได้แก่ ค่า BOD, SS, TKN, TP, DO และ pH ซึ่งระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่ 3, 6 และ 9 วัน ทั้งนี้ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ในการทดสอบความแตกต่างของข้อมูลที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ผลการวิจัย พบว่าในบ่อทดลองที่มีการปลูกต้นธูปฤาษี และกกกลมนั้นมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของชุมชนได้ดีกว่าบ่อควบคุมที่ไม่ได้ปลูกพืชทั้ง 2 ชนิด และพบว่าระยะเวลากักพักชลศาสตร์ที่แตกต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด BOD, SS, TKN และ TP โดยผลการวิเคราะห์พบว่าการเปลี่ยนแปลง ของค่า DO มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการบำบัดค่าดังกล่าว พบว่า ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน มีค่าประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุด คือ ประสิทธิภาพการบำบัด SS มีค่า

เท่ากับ 91.24%, TKN มีค่าเท่ากับ 67.88%, BOD มีค่าเท่ากับ 84.88%, TP มีค่าเท่ากับ 68.86% และการเปลี่ยนแปลงDO มีค่าเท่ากับ 27.12% อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในทุกหน่วยการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

(วาสนา อากรรัตน์, วุฒิชัย อ่อนเอี่ยม และลิขิต ชูชิต, 2555) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำกับแพลงก์ตอนพืชในบริเวณชายฝั่งอ่าวประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดยเก็บตัวอย่างตามฤดูกาลในรอบของปี ได้แก่ ช่วงฤดูฝนเก็บตัวอย่างในเดือนสิงหาคม 2551 ฤดูหนาวเก็บตัวอย่างในเดือนธันวาคม 2551 และฤดูร้อนเก็บตัวอย่างในเดือนเมษายน 2552 ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำบริเวณชายฝั่งอ่าวประจวบฯ ยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด และพบแพลงก์ตอนพืช 3 ดิวิชั่น ได้แก่ ดิวิชั่น Cyanophyta 2 สกุล ดิวิชั่น Chlorophyta 2 สกุล และดิวิชั่น Chromophyta 53 สกุล รวม 57 สกุล โดยแพลงก์ตอนพืชที่เป็นสกุลเด่น ได้แก่ Chaetoceros, Rhizosolenia และ Thalassionemeตามลำดับ ส่วนในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำกับปริมาณแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด พบว่า แพลงก์ตอนพืชในบริเวณชายฝั่งอ่าวประจวบฯ มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณซิลิเกต ($r = 1.00$, $P<0.01$) และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณไนไตรท์ ($r = -1.00$, $P<0.01$)

2.4 ปัจจัยทางกายภาพและเคมีของน้ำบางประการ

2.4.1 สมบัติของน้ำเสีย (Characteristics of sewage)

ลักษณะของน้ำเสียจะเป็นตัวชี้ให้เห็นว่าน้ำเสียเหล่านั้นมีองค์ประกอบอย่างไรบ้าง เพื่อแสดงถึงระดับความสกปรกของน้ำเสียนั้น ๆ คุณลักษณะของน้ำเสียที่ใช้บอกระดับความสกปรก มี 3 ประการ คือ

2.4.1.1 ลักษณะทางกายภาพ (Physical characteristics)

น้ำเสียจะมีลักษณะขุ่น มีของแข็งแขวนลอย (Suspended solid) และของแข็งที่ละลาย (Dissolved solids) หรืออาจมีสารพิษเจือปน ตัวชี้วัดคุณภาพทางกายภาพ จึงสามารถสังเกตได้ดังนี้

อุณหภูมิ (Temperature) น้ำเสียทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงกว่าปกติ ทำให้ก๊าซออกซิเจนละลายได้น้อย จึงทำให้เกิดกลิ่นเหม็นและน้ำเน่าเสียมากขึ้น

สี (Color) น้ำเสียจะมีสีเข้มต่างกันตามสภาพของน้ำทิ้ง สีของน้ำเป็นตัวบ่งชี้ถึงความเน่าเสีย ของน้ำว่ามีมากหรือน้อย

กลิ่น (Odor) น้ำเสียจะมีกลิ่นเหม็น ถ้าเป็นกลิ่นจากการเน่าสลายของสารอินทรีย์จะเหม็นมาก เพราะขาดก๊าซออกซิเจน

2.4.1.2 ลักษณะทางเคมี (Chemical characteristics)

ความเป็นกรด – ด่าง (pH)

สารอินทรีย์ (Organic matters) ได้แก่ โปรตีน ไขมัน ฟีนอล คาร์โบไฮเดรท

สารอนินทรีย์ (Inorganic matters) ได้แก่ แร่ธาตุ

สารเคมีต่าง ๆ (Chemical substance) เช่น ยาฆ่าแมลง คลอไรด์ ไนเตรท ฟอสเฟต ซัลเฟต โลหะหนัก เป็นต้น

แอมโมเนีย (Ammonia, NH_3) ปริมาณแอมโมเนียที่อยู่ในน้ำนั้น เป็นตัวที่จะสะท้อนถึงประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพว่า ทำงานได้ดีเพียงใด แอมโมเนียเกิดขึ้นจากการหายใจออกมาทางเหงือกปลา อีกทั้งยังเกิดจากการที่แบคทีเรียย่อยสลายของเสียต่างๆ ในตู้ปลา เช่น เศษอาหาร และขี้ปลา ค่าแอมโมเนียที่เราสามารถวัดได้ เรียกว่า แอมโมเนียรวม ซึ่งในค่าแอมโมเนียรวมจะประกอบไปด้วยแอมโมเนีย 2 ชนิด คือ อิออนไนซ์แอมโมเนีย (NH_4^+) ซึ่งไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ และ อันอิออนไนซ์แอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ สัดส่วนของแอมโมเนียทั้งสองชนิดนั้น จะขึ้นกับปัจจัยหลักคือค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ (pH) และรองลงมาคืออุณหภูมิ (pH สูง แอมโมเนียประเภท NH_3 จะมีสัดส่วนมากขึ้น ซึ่งจะทำให้แอมโมเนียมีพิษมากขึ้น) (R.E.Lund 1975)

ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ (Suspended Solids) แบ่งได้ 2 ชนิด คือ Suspended Solids หมายถึง ของแข็งที่ไม่ละลายในน้ำตะกอนที่มีขนาดเล็ก และมีน้ำหนักเบา สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ Settleable Solids หมายถึงของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ มีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าน้ำ ตะกอนมีขนาดใหญ่ เมื่อตั้งทิ้งไว้สามารถจะตกลงมานอนที่ก้นภาชนะได้ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2543)

ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) การหาค่าทีเคเอ็นมักทำโดยเปลี่ยนสารอินทรีย์ไนโตรเจน ให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียแล้วจึงวัดจากปริมาณแอมโมเนียทั้งหมด ดังนั้นทีเคเอ็นหมายถึงผลรวมของสารอินทรีย์ไนโตรเจน และแอมโมเนีย (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2543)

ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus) ฟอสฟอรัสพบได้ในน้ำเสียที่อยู่ในรูปของฟอสเฟต และพบในน้ำธรรมชาติ ปัจจุบันจำแนกฟอสฟอรัสได้ 3 ประเภทคือ สารอินทรีย์ฟอสเฟต ออร์โธฟอสเฟต และคอนเดนซ์ฟอสเฟต (โพลีฟอสเฟตต่างๆ) อาจพบฟอสฟอรัสได้ในรูป ตะกอนดินก้นบ่อ สารแขวนลอยในน้ำ สารละลาย และในตัวของสิ่งมีชีวิตต่างๆ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2543)ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) คือ

ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำ มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l) ก๊าซออกซิเจนสามารถละลายน้ำได้น้อย ในน้ำสะอาดออกซิเจนมีค่าอยู่ในช่วง 14.6 – 7 mg/l ที่อุณหภูมิ 0 – 35 องศาเซลเซียส ซึ่งการละลายน้ำจะลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำและเพิ่มสิ่งเจือปนในน้ำ เช่น ความเค็ม สารแขวนลอย ฯลฯ สิ่งมีชีวิตในน้ำต้องการออกซิเจนในการหายใจ ดังนั้นควรมีออกซิเจนละลายในน้ำไม่ต่ำกว่า 3 mg/l (อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, 2545)

ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) จะบ่งบอกถึงความเป็นกรดหรือด่างของแหล่งน้ำ น้ำที่เป็นกลางถือว่ามี pH เท่ากับ 7 น้ำที่เป็นกรดและด่างถือว่ามี pH น้อยกว่า หรือมากกว่า 7 ในแหล่งน้ำธรรมชาติมักมี pH อยู่ใกล้ 7 น้ำในบ่อหรืออ่างเก็บน้ำอาจมี pH สูงได้ถึง 9 หรือมากกว่าถ้ามีสาหร่ายเจริญเติบโตและทำการสังเคราะห์แสงในแหล่งน้ำนั้น (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศน์, 2547)

ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Biochemical Oxygen Demand ; BOD) บ่งบอกถึงปริมาณการปนเปื้อนของสารอินทรีย์หรือการเน่าเสียของน้ำโดยสารอินทรีย์ โดยแบคทีเรียจะกินสารอินทรีย์ในน้ำเป็นอาหาร ดังนั้นค่า BOD จึงสามารถบอกถึงลักษณะของน้ำว่ามีความสกปรกมากแค่ไหน ถ้าตัวอย่างน้ำมีสารอินทรีย์มากจะทำให้แบคทีเรียมีปริมาณมากและหายใจใช้ออกซิเจนมาก ค่า BOD ก็สูงและในทางกลับกัน ถ้าน้ำมีสารอินทรีย์อยู่น้อยค่า BOD ก็จะน้อย น้ำเสียที่มีค่า BOD สูงเมื่อถูกทิ้งลงในแหล่งน้ำ จะทำให้ปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลงจนเกิดสภาพไร้ออกซิเจน น้ำเน่าเสียและทำให้ปลาตายได้ (อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, 2545) ค่ามาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข (2537) กำหนดไว้ว่าค่า BOD สูงเกินกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ถือว่าเป็นน้ำเสีย จากพระราชบัญญัติน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม กำหนดว่าน้ำก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติต้องมีค่า BOD ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ในแหล่งน้ำธรรมชาติควรมี BOD ไม่เกิน 6 มิลลิกรัมต่อลิตร (ธิดารัตน์ ศรีสว่าง, 2554)

ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen: TKN) เป็นปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมดที่อยู่ในน้ำทิ้ง ทั้งในรูปของแข็ง และสารละลาย ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้บอกสภาพของน้ำทิ้ง น้ำที่มีค่าทีเคเอ็นมากจะมีสภาพเป็นด่าง และมีกลิ่นค่อนข้างเหม็น (เหม็นเปรี้ยวเหมือนแอมโมเนีย) ซึ่งทีเคเอ็น คือ ไนโตรเจนที่เป็นสารอินทรีย์และแอมโมเนียไนโตรเจน พบว่า ผลการตรวจวิเคราะห์ค่าไนโตรเจน ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน ของบ่อทดลองที่มีพืช มีค่าเฉลี่ยปริมาณ ไนโตรเจน เท่ากับ 0.26 มิลลิกรัมต่อลิตร และบ่อควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจน เท่ากับ 0.83 มิลลิกรัม ต่อลิตร และมีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจน ที่ระยะเวลาในการกักพักชลศาสตร์ 9 วัน พบว่า บ่อทดลองที่มีพืช มี ประสิทธิภาพการบำบัด

ร้อยละ 71.13 และบ่อควบคุมที่ไม่มีพืช มีประสิทธิภาพการบำบัด ร้อยละ 11.13 (ฉัตรชัย ยาทะเล,2554)

COD (Chemical Oxygen Demand) คือ ปริมาณ O_2ที่ใช้ในการออกซิไดซ์ในการสลายสารอินทรีย์ด้วยสารเคมีโดยใช้สารละลาย เช่น โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ในปริมาณมากเกินพอ ในสารละลายกรดซัลฟิวริกซึ่งสารอินทรีย์ในน้ำทั้งหมดทั้งที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ และย่อยสลายไม่ได้ก็จะถูกออกซิไดซ์ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด และการให้ความร้อน โดยทั่วไปค่า COD จะมีค่ามากกว่า BOD เสมอ ดังนั้นค่า COD จึงเป็นตัวแปรที่สำคัญตัวหนึ่งที่สามารถแสดงถึงความสกปรกของน้ำเสียไม่เกิน 120 มก./ล.หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มก./ล. (กรมควบคุมมลพิษ)

สารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียจากการทำเกษตรมีอยู่ 4 ชนิด ได้แก่ อินทรีย์ไนโตรเจน (Organic nitrogen) แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_3–N) ไนไตรท์ไนโตรเจน (NO_2–N) และไนเตรทไนโตรเจน (NO_3–N) โดยสารอินทรีย์ไนโตรเจน อาจอยู่ในรูปของกรดอะมิโน (Amino acid) เปปไทด์ (Peptides) หรือยูเรีย (Urea) ซึ่งส่วนใหญ่มาจากการขับถ่ายของเสีย และเป็นรูปที่ถูกรีดิวส์ (reduce) ได้สูงสุด โดยจะถูกย่อยสลายให้กลายเป็นแอมโมเนียได้ง่ายโดยอาศัยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งปฏิกิริยานี้เรียกว่า แอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) ดังสมการที่ 1 (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2538 Hauser, 1996 AWWA, 1998 Mitsch และ Gosselink, 2000)

$$\underset{\text{(ยูเรีย)}}{NH_2CONH_2} \longrightarrow 2NH_3 + CO_2 \qquad (1)$$

ในน้ำเสียจากการทำเกษตรทั่วไปมักจะมีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนสูงที่สุดโดยเป็นองค์ประกอบประมาณ 60% ส่วนไนไตรท์ไนโตรเจน และไนเตรทไนโตรเจนนั้นปกติจะมีปริมาณต่ำสุดในน้ำเสียที่เพิ่งปล่อยออกมาในระยะแรก แต่หากมีออกซิเจนเพียงพอจะมีปริมาณสูงขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนรูปจากแอมโมเนียไนโตรเจนโดยอาศัยจุลินทรีย์กลุ่ม *Nitrosomonas* sp. และ *Nitrobactor* sp. ดังสมการที่ 2 และ 3 (ชัยพร ภู่ประเสริฐ, 2538 เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2542)

Nitrosomonas sp.

$$2NH_4^+ + 3O_2 \longrightarrow 2NO_2^- + 4H^+ + \text{energy} \qquad (2)$$

Nitrobactor sp.

$$2NO_2^- + O_2 \longrightarrow 2NO_3^- + \text{energy}$$

(3)

สำหรับสารฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากการทำเกษตร จะอยู่ในรูปต่าง ๆ กันของฟอสเฟต คือ อนินทรีย์ฟอสเฟต ได้แก่ ออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate) และโพลีฟอสเฟส (Polyphosphate) และอินทรีย์ฟอสเฟต (Organic phosphate) โดยฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปละลายน้ำได้ และบางส่วนจะรวมกับอนุภาคอื่น ๆ แขวนลอยอยู่ในน้ำ (Hauser, 1996)หากในแหล่งน้ำมีไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียอิสระในปริมาณสูงจะมีค่าความเป็นพิษต่อปลา และสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ และทำให้ออกซิเจนละลายในแหล่งน้ำลดลง เนื่องจากในการออกซิเดชันแอมโมเนียไนโตรเจน 1 มก./ล. ต้องใช้ออกซิเจน 4.6 มก./ล. (มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์, 2538)

นอกจากนี้น้ำเสียจากการทำเกษตรยังมีธาตุอาหารจำพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบสำคัญโดยจะอยู่ในรูปของสารประกอบไนโตรเจน (Nitrogen compounds) และสารประกอบฟอสฟอรัส (Phosphorus compounds) (ปิยวรรณ สายมโนพันธ์, 2543) น้ำเสียจากการเกษตรส่วนใหญ่มีสิ่งสกปรกอยู่ในรูปของสารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ซึ่งมักอยู่ในรูปของอาหารปลา เศษอาหาร ขยะมูลฝอย ของเสียจากกระบวนการผลิตปุ๋ย โดยปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำนิยมวัดในรูปของบีโอดี ซึ่งแสดงถึง ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์นำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอน และแหล่งพลังงานในการดำรงชีวิต ดังนั้น ค่าบีโอดีจึงเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำ กล่าวคือ หากค่าบีโอดีในน้ำสูงแสดงว่ามีสารอินทรีย์ในน้ำปะปนสูงจุลินทรีย์จึงใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์มาก ทำให้น้ำมีปริมาณออกซิเจน (Dissolved oxygen) ต่ำลง เกิดสภาพน้ำเน่าเสียได้ง่าย โดยสารอินทรีย์ในน้ำเป็นจำพวกแป้งหรือคาร์โบไฮเดรต จะถูกย่อยสลายให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ แต่หากสารอินทรีย์ในน้ำเป็นสารจำพวกโปรตีนจะถูกย่อยสลายให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และแอมโมเนียไนโตรเจน (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2542, กรมควบคุมมลพิษ, 2545)สารประกอบพวกไนโตรเจน และฟอสฟอรัส (Nitrogen and Phosphorus compounds)สารประกอบพวกนี้ยังเป็นอาหารหลักของพืช ซึ่งพบปริมาณเล็กน้อยในน้ำธรรมชาติ สารเหล่านี้อาจปะปนอยู่ในน้ำทิ้ง น้ำเสียที่ออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือการชะล้างจากกิจกรรมทางการเกษตร สารประกอบของไนโตรเจน และฟอสฟอรัสเป็นปุ๋ยของพืชน้ำทุกชนิด โดยเฉพาะพวกสาหร่าย (Algae) เมื่อสารประกอบดังกล่าว ทำให้เกิดสภาวะ การ

การเจริญของสาหร่ายมากเกินไป (Algae bloom หรือ Eutrophication) ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง จนที่สุดอาจเกิดการเน่าเสียของแหล่งน้ำได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

2.4.1.3 ลักษณะทางชีววิทยา (Biological characteristics)

ในน้ำเสียจะมีจุลินทรีย์จำนวนมาก ทั้งที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และไม่สามามองเห็นได้ด้วยตาเปล่าที่ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ จุลินทรีย์เหล่านี้มีความสำคัญในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เช่น โปรโตซัว แบคทีเรีย รา พืชชั้นต่ำ สาหร่าย และสัตว์น้ำขนาดเล็ก เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

2.5 การบำบัดน้ำเสียโดยใช้บึงประดิษฐ์

(U.S. EPA, 1988) บึงหรือพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetlands) หมายถึง พื้นที่ที่มีน้ำท่วมถึงหรือพื้นที่ที่ชุ่มไปด้วยน้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดินในระยะเวลานานพอสมควรที่จะทำให้พื้นที่นั้นคงสภาวะของการอิ่มตัวด้วยน้ำไว้ได้โดยในพื้นที่ชุ่มน้ำนี้ยังเป็นบริเวณที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนพลังงาน และสารอาหารระหว่างดวงอาทิตย์กับสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ภายในบึง นอกจากนี้บึงยังเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ต่าง ๆ มากมาย เช่น งู ปลา เป็ด เต่า กบ นกอพยพ เป็นต้น ซึ่งเป็นสถานที่ที่มีความหลากหลายทางชีวภาพสามารถรักษาสมดุลให้กับสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปแล้วความลึกของน้ำในบึงจะมีระดับแตกต่างกันไป ประมาณ 1 – 2 เมตร และน้ำจะไหลผ่านเข้าในพืชที่ขึ้นกันอยู่หนาแน่นอย่างช้า ๆ พืชส่วนใหญ่ที่พบในบึงต้องเป็นพืชที่ทนต่อสภาพน้ำท่วมและสภาพที่ขาดออกซิเจนของดินได้โดยทั่วไปแล้วการใช้บึงธรรมชาติในการบำบัดของเสียจะมีรูปแบบของการไหลในแนวนอน โดยบึงธรรมชาติจะสามารถบำบัดของเสียได้ด้วยกระบวนการกรอง การตกตะกอน การดูดซับสารอาหารของพืชและการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดของเสียโดยระบบบึงธรรมชาติได้

(จักราพิชญ์ อัตโน, ประสงค์สม ปุณยอุปพัทธ์, 2541) ได้ทำการศึกษาระบบบำบัดเพื่อเลียนแบบสภาพพื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติเพื่อใช้ขบวนการทางธรรมชาติในการบำบัด และฟื้นฟูน้ำเสียให้ใช้ประโยชน์ได้ โดยใช้พืช ดิน หินเป็นพื้นที่ในการยึดเกาะของจุลินทรีย์เพื่อช่วยในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี โดยเมื่อน้ำเสียไหลเข้าบึงประดิษฐ์ส่วนต้น สารอินทรีย์ส่วนหนึ่งจะตกตะกอนจมตัวลงสู่ก้นบึงและถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ส่วนสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำจะถูกกำจัดโดยจุลินทรีย์ที่เกาะติดอยู่กับพืชน้ำ ชั้นกรวด และจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ รวมถึงการนำไปใช้โดยพืช

(กรมพัฒนาที่ดิน, กรม, 2541) ได้ทำการศึกษาระบบของหญ้าแฝกซึ่งเป็นพืชชนิดหนึ่ง

ที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวได้พระราชทานพระราชดำริให้ดำเนินการศึกษา และทดลองเพื่อนำเอามาใช้ในการอนุรักษ์ฟื้นฟูดิน และน้ำ เนื่องจากหญ้าแฝกเป็นพืชที่มีรากฝอยมาก และสานตัวกันแน่น โดยการกระจายตัวของรากจะหยั่งลึกลงในแนวดิ่งของดินมากกว่ากระจายไปในแนวนอน รากทำหน้าที่ยึดเกาะดินและเก็บกักความชื้นในดิน ทั้งนี้รากของหญ้าแฝกซึ่งมีจำนวนมากมีโอกาสที่จะสัมผัสและดูดซับสารต่างๆที่อยู่ทั้งในดินและน้ำได้ดี และยังสามารถปลูกได้ในสภาวะน้ำท่วมขัง นอกจากนี้หญ้าแฝกยังเป็นพืชที่มีการขยายสายพันธ์ด้วยเมล็ดน้อยหรือแทบไม่มี จึงไม่อยู่ในลักษณะของวัชพืช ในปัจจุบันจึงมีการนำเอาหญ้าแฝกมาประยุกต์ใช้บำบัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ให้ดีขึ้น เช่น การปลูกแนวรั้วหญ้าแฝกในพื้นที่น้ำท่วมหรือตามขอบแหล่งน้ำ ซึ่งจะช่วยในการกรองดิน และสิ่งปฏิกูลต่างๆ ไม่ให้ไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

(พัฒนพงษ์ ฟองเพชร, จิดาวัลย์ วิบูลย์อุทัย, เชาวยุทธ พรพิมลเทพ, 2552) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของต้นพุทธรักษาในการบำบัดน้ำเสียของชุมชนโดยระบบบึงประดิษฐ์แบบการไหลใต้ผิวดินเป็นการวิจัยแบบทดลอง (Experimental Research) ภายใต้สภาวการณ์ธรรมชาติที่มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหนาแน่นของต้นพุทธรักษาที่แตกต่างกันที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดค่า BOD, SS, TKN และการเปลี่ยนแปลงการของเจริญเติบโตของพืชอย่างไร โดยใช้น้ำเสียของชุมชนที่ยังไม่ได้ผ่านการบำบัด และนำมาผ่านการดักไขมัน และตกตะกอนก่อนนำเข้าระบบบึงประดิษฐ์แบบการไหลใต้ผิวดิน โดยตัวกลางที่ใช้ได้แก่ ทรายปนหิน โดยแบ่งการทดลองเป็น3 ถัง ได้แก่ ถังควบคุม ถังที่ 2 ปลูกพุทธรักษาจำนวน 10 ต้น/ตารางเมตร และถังที่ 3 ปลูกพุทธรักษาจำนวน 20 ต้น/ตารางเมตร ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ สถิติที่ใช้วิเคราะห์คือ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และทดสอบสมมติฐานโดยใช้ Kruskal–Wallis k–Sample Test ผลการวิจัยพบว่า ถังที่มีความหนาแน่นของพุทธรักษาที่ต่างกันสามารถกำจัดค่า BOD, SS ไม่แตกต่างกัน แต่ถังที่มีความหนาแน่นของพุทธรักษา 20 ต้น สามารถกำจัดค่า TKN ได้ดีกว่าถังที่มีความหนาแน่นพุทธรักษา 10 ต้น และถังควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยถังที่มีหนาแน่นของพุทธรักษา 20 ต้น/ตารางเมตร สามารถกำจัดค่า BOD, SS และ TKNได้สูงสุด 90.7%, 98.5%, 99.0% ตามลำดับ และถังที่ปลูกพุทธรักษาสามารถเจริญเติบโตได้ในการทดลอง โดยมีความสูงเฉลี่ยก่อนการทดลอง 50–60 เซนติเมตร และหลังการทดลอง 150–165เซนติเมตร สำหรับจำนวนใบ เมื่อเริ่มต้นมีจำนวนใบประมาณ 3–4 ใบ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีจำนวนใบประมาณ 6–8 ใบ โดยหน่วยการทดลองที่มีต้นพุทธรักษามีการเจริญโตไม่แตกต่างกัน

(ฉัตรชัย ยาทะเล, 2554) ได้ทำการศึกษาถึงระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ ในการบำบัดอินทรีย์ไนโตรเจน ถ้ามีมากจะมีสภาพเป็นด่าง และมีกลิ่นค่อนข้างเหม็น (เหม็นเปรี้ยวเหมือน

แอมโมเนีย) พบว่า ผลการตรวจวิเคราะห์ค่าไนโตรเจน ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน ของบ่อทดลองที่มีพืช มีค่าเฉลี่ยปริมาณ ไนโตรเจน เท่ากับ 0.26 มิลลิกรัมต่อลิตร และบ่อควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจน เท่ากับ 0.83 มิลลิกรัม ต่อลิตร และประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจน ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน พบว่า บ่อทดลองที่มีพืช มี ประสิทธิภาพการบำบัด ร้อยละ 71.13 และบ่อควบคุมที่ไม่มีพืช มีประสิทธิภาพการบำบัด ร้อยละ 11.13

(ลลินี ทับทิมทอง, มณฑล ฐานุตตมวงศ์, 2554) ได้ทำการศึกษาความสามารถของระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินแนวนอนร่วม และระบบน้ำไหลผิวดินโดยใช้พืชกกลังกา และบัวหลวง ในการลดปริมาณสารอินทรีย์ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน และของแข็งทั้งหมด โดยใช้น้ำเสียจากหอพักนิสิตหญิง และตึกพักบุคคลากร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนครจากผลการศึกษาพบว่า ระบบบึงประดิษฐ์ซึ่งมีระยะเวลากักเก็บ 3 วันสามารถลดค่าบีโอดีซีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัส ของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 94.66 85.42 77.12 64.24 แ ล ะ 81.55 Prediction Dormitories Wastewater Treatment by Constructed Wetland ตามลำดับ และการลดระยะเวลากักเก็บลงต่ำกว่า 1.5 วัน ส่งผลให้ระบบไม่สามารถระบายน้ำออกได้ทัน

(วิภาดา วงค์เรือนแก้ว และ ดร.โสมนัส สมประเสริฐ, 2559) ได้ทำการศึกษาในการเพื่อเปรียบเทียบพืช 2 ชนิด ในการบำบัดเจลดาลห์ไนโตรเจน (TKN) ด้วยใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ โดยทำการปลูกพืชกกลังกา (*Cyperus* spp.) และต้นไอริส (*Neomarica* spp.) อย่างล่ะ 3 ถัง และมีระบบควบคุมที่มีการปลูกพืช ใช้โฟมขนาด 33 X 33 X 5 ซม. เจาะหลุมกว้าง 6.5 ซม. จำนวน 9 หลุม เพื่อใช้เป็นแพสำหรับรองรับพืชที่จะป้อนน้ำเสียจากการเลี้ยงปลาที่มีปริมาณ TKN เฉลี่ย 14 มก./ล. เข้าสู้ระบบเป็นแบบกะ (Batch) ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำในระบบบำบัด 1 สัปดาห์ จากการศึกษาพบว่าชุดการทดลองที่ปลูกพืชกกลังกามีประสิทธิภาพในการกำจัด TKN ได้ดีเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ปลูกพืชไอริสและชุดการทดลองที่ไม่ปลูกพืช แบบจำลองที่ปลูกพืชกกรังกามีประสิทธิภาพในการกำจัด TKN ร้อยละ 77 เหลือปริมาณ TKN ในน้ำออกจากชุดการทดลองเฉลี่ย 3 มก./ล. และบำบัดแอมโมเนียได้ร้อยละ 89 โดยแอมโมเนียในน้ำออกจากชุดการทดลอง 0.7 มก./ล. นอกจากนี้ยังพบว่าต้นกกลังกาเจริญเติบโตได้ดีในน้ำเสียจากการเลี้ยงปลาโดยมีความยาวของรากพืชกกลังกาเพิ่มขึ้น 56 ซม. ในระยะเวลาในการทดลอง 9 สัปดาห์

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเก็บตัวอย่างน้ำและแพลงก์ตอนพืช

3.1.1 สถานที่เก็บตัวอย่าง

บ่อเพาะเลี้ยงปลาดุก บ้านทุ่งหลวง ต.ดอนศรีชุม อ.ดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา ในช่วงเดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 (ภาพ 1)

ภาพ 1 จุดเก็บตัวอย่างน้ำบริเวณระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ

3.2 การเก็บตัวอย่างน้ำ

ทำการเก็บน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลา (น้ำเสียก่อนเข้าระบบ (IN)) และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำในแต่ละชุดการทดลอง ทั้งหมด 4 ชุดการทดลอง ดังนี้

1. ชุดการทดลองควบคุมไม่มีแพลอยน้ำ (C)
2. ชุดการทดลองควบคุมมีแพลอยน้ำ (CF)
3. ชุดการทดลองพืชกกลังกา (CY)
4. ชุดการทดลองพืชไอริส (N)

ที่ตั้ง บ้านทุ่งหลวง ต.ดอนศรีชุม อ.ดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา ในช่วงเดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 รวม 13 ครั้ง สำรวจพื้นที่ และกำหนดจุดเก็บตัวอย่างในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ และทำการเก็บตัวอย่างน้ำลึกลงไปจากผิวน้ำ 30 เซนติเมตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

ตาราง 1 พารามิเตอร์และวิธีที่ใช้วิเคราะห์น้ำตัวอย่าง

พารามิเตอร์	จุดเก็บ	ความถี่	วิธีวิเคราะห์
Biological oxygen demand (BOD_5)	น้ำเข้าและออก	ทุก 1 เดือน	Azide Modification
Chemical oxygen demand (COD)	น้ำเข้าและออก	ทุก 7 วัน	Closed Reflux
Suspended Solid (SS)	น้ำเข้าและออก	ทุก 7 วัน	Glass Fiber Filter Disc
Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)	น้ำเข้าและออก	ทุก 7 วัน	Kjeldahl Method
Phosphorus (P)	น้ำเข้าและออก	ทุก 7 วัน	AcidDigestion Ascorbic Acid
Ammonia nitrogen (NH_3–N)	น้ำเข้าและออก	ทุก 7 วัน	Titration

น้ำเสียก่อนเข้าระบบ(IN)

ชุดการทดลองควบคุมไม่มีแพลอยน้ำ (C)

ชุดการทดลองควบคุมมีแพลอยน้ำ (CF)

ชุดการทดลองพืชกกลังกา (CY)

ชุดการทดลองพืชไอริส (N)

ภาพ 2 ชุดการทดลองในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ

3.3 การเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนพืช

การเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนพืช โดยใช้ตาข่ายแพลงก์ตอน (Plankton net) ความถี่ของตาข่ายขนาด 10 µm กรองตัวอย่างน้ำ 20 L เก็บตัวอย่างใส่ในขวดสีชาแล้ว เติม Lugol's solution ประมาณ 0.4–0.8 ml ต่อน้ำตัวอย่าง ประมาณ 100 ml (ลัดดา และโสภณา, 2546) เพื่อรักษาสภาพเซลล์ ของแพลงก์ตอนพืชและสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานขึ้น

3.4 เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้

3.4.1 อุปกรณ์ และสารเคมีในเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนพืช

- ถังน้ำขนาด 5 L
- ขวดสีชา 150 ml
- ตาข่ายแพลงก์ตอน ขนาดตาราง 10 µm
- Lugol'solution สำหรับเก็บรักษาแพลงก์ตอน

3.4.2 อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางด้านกายภาพและเคมี

- บีกเกอร์ (Beaker)
- ขวด BOD (BOD Bottle)
- ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
- ปิเปต (Pipette)
- กระบอกตวง (Cylinder)
- ช้อนตักสาร (Spatula)
- แท่งคนสาร (Stirring Rod)
- บิวเรตต์ (Burette)
- ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask)
- หลอดหยดสาร (Dropper)
- ขวดฉีดน้ำกลั่น (Wash bottle)
- ขาตั้งและแคลมป์ (Stand & Clamp)
- สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ และปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการในการย่อยสลายสารอินทรีย์ มีดังนี้

1) โซเดียมไอโอไดด์ (Sodium iodide; NaI, Unilab)

2) โซเดียมเอไซด์ (Sodium azide; NaN_3, QRëC)

3) โซเดียม ไทโอซัลเฟต (Sodium thiosulfate; $Na_2S_2O_3$, Carlo Erba)

4) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH, α Alpha)

5) โพแทสเซียมไดโครเมท (Potassium dichromate; $K_2Cr_2O_7$, Univar)

6) โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium iodide; KI, Univar)

7) กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid; H_2SO_4, QRëC)

8) แป้งมัน (Starch, ตราแมวแดงดาวเทียมลูกโลก)

3.4.3 อุปกรณ์สำหรับศึกษา และหาปริมาณแพลงก์ตอนพืช

- กล้องจุลทรรศน์ชนิด Compound microscope
- กล้องจุลทรรศน์ชนิดถ่ายภาพได้
- สไลด์และกระจกปิดสไลด์
- Automatic micropipette
- เอกสารที่ใช้ในการวินิจฉัยแพลงก์ตอนพืช ได้แก่ สาหร่ายน้ำจืดในประเทศไทย (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2556)

3.5 การวิเคราะห์น้ำทางกายภาพและเคมีบางประการ

ศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการ ณ จุดเก็บตัวอย่างน้ำ ดังนี้

1. อุณหภูมิของน้ำ ทำการวัดโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ และเครื่อง Multi-Parameter ยี่ห้อ CyberScan PCD 650 (Singapore)

2. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) Multi-Parameter ยี่ห้อ CyberScan PCD 650 (Singapore)

3. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen ; DO) แสดงการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (ภาคผนวก ง) ทำการวัดโดยใช้เครื่อง Multi-Parameter ยี่ห้อ CyberScan PCD650 (Singapore)

3.6 ศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการที่ห้องปฏิบัติการ ดังนี้

- ค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Biochemical Oxygen Demand หรือ BOD) โดยวิธีตรง (Direct Method) แสดงการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (ภาคผนวก ง)

3.7 การจัดหมวดหมู่และระบุชนิดของแพลงก์ตอนพืช

หยดตัวอย่างแพลงก์ตอนพืชลงบนแผ่นสไลด์ 0.02 ml ด้วยเครื่อง Micropipettes ขนาด 20 ไมโครลิตร ปิดทับด้วยกระจกปิดสไลด์ให้สนิทไม่ให้มีฟองอากาศ แล้วนำมาศึกษาชนิดของแพลงก์ตอนพืชและนับจำนวนแพลงก์ตอนพืชภายใต้กล้องจุลทรรศน์ แบบ compound microscope ที่กำลังขยาย 40X จำนวน 40 แถว และถ่ายรูปแพลงก์ตอนพืชเพื่อประกอบการวินิจฉัย จัดจำแนกโดยใช้หนังสือสาหร่ายน้ำจืดในประเทศไทยของ (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2556)

3.8 การวิเคราะห์ความหลากหลายทางชีวภาพ

หาความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชโดยใช้ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพแชนนอนเวียเนอร์ (Shannon – Wiener's Index)

3.9 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยใช้แพลงก์ตอนพืชเป็นดัชนี (AARL PP Score และ Palmer's pollution index)

ทำการประเมินคุณภาพน้ำโดยใช้ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นโดยใช้วิธี AARL – PP Score (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2550)

3.10 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

หาความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำบางประการ และความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชโดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรมทางสถิติ Principal Component Analysis (PCA) และ Canonical Correspondence Analysis (CCA)

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

4.1 ผลการวิจัยในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ

4.1.1 ความหนาแน่นของชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนพืชในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ

การศึกษาคุณภาพน้ำในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำในแต่ละชุดการทดลอง โดยใช้แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นเป็นดัชนีชี้วัด ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 ผลการศึกษาพบว่า

1. น้ำเสียก่อนเข้าระบบ พบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 4 Divisions 31 genera 64 species โดยแพลงก์ตอนพืชที่มีจำนวนชนิดสูงสุดคือ (Division Chlorophyta 56% ได้แก่ *Scenedesmus* sp.1 *Scenedesmus* sp.5 *Scenedesmus acuminatus*) (Division Bacillariophyta 26% ได้แก่ *Cyclotella* sp.1, *Melosira varians Nitzschia* sp.1) (Division Euglenophyta 9% ได้แก่ *Euglena* sp.2 *Lepocinclis acus Trachelomonas* sp.1) (Division Cyanophyta 9% ได้แก่ *Pseudanabaena* sp.1 *Merismopedia punctate Gloeocapsa* sp.1) ตามลำดับ (ภาพ 3)

2. ชุดการทดลองควบคุมไม่มีแพลอยน้ำ พบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 4 Divisions 34 genera 61 species โดยแพลงก์ตอนพืชที่มีจำนวนชนิดสูงสุดคือ (Division Bacillariophyta 49% ได้แก่ *Cyclotella* sp.1, *Melosira varians Cocconeis placentura*) (Division Chlorophyta 26% *Scenedesmus* sp.1 *Scenedesmus acuminatus Chlorella sp.1*) (Division Euglenophyta 16% *Euglena* sp.2, *Lepocinclis playfairiana Euglena anabaena*) (Division Cyanophyta 9% *Chroococcus* sp.1 *Cyanosarcina* sp.1 *Gloeocapsa* sp.1) ตามลำดับ (ภาพ 4)

3. ชุดการทดลองควบคุมมีแพลอยน้ำ พบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 4 Divisions 33 genera 56 species โดยแพลงก์ตอนพืชที่มีจำนวนชนิดสูงสุดคือ (Division Bacillariophyta 41% ได้แก่ *Cyclotella* sp.1 *Melosira varians Gomphonema* sp.2) (Division Chlorophyta 34% ได้แก่ *Scenedesmus* sp.1 *Volvox* sp.1 *Scenedesmus acuminatus*) (Division Euglenophyta 21% ได้แก่ *Euglena* sp.2 *Lepocinclis playfairiana Euglena anabaena*) (Division Cyanophyta 4% ได้แก่ *Chroococcus* sp.1 *Pseudanabaena* sp.1 *Gloeocapsa* sp.1) ตามลำดับ (ภาพ 5)

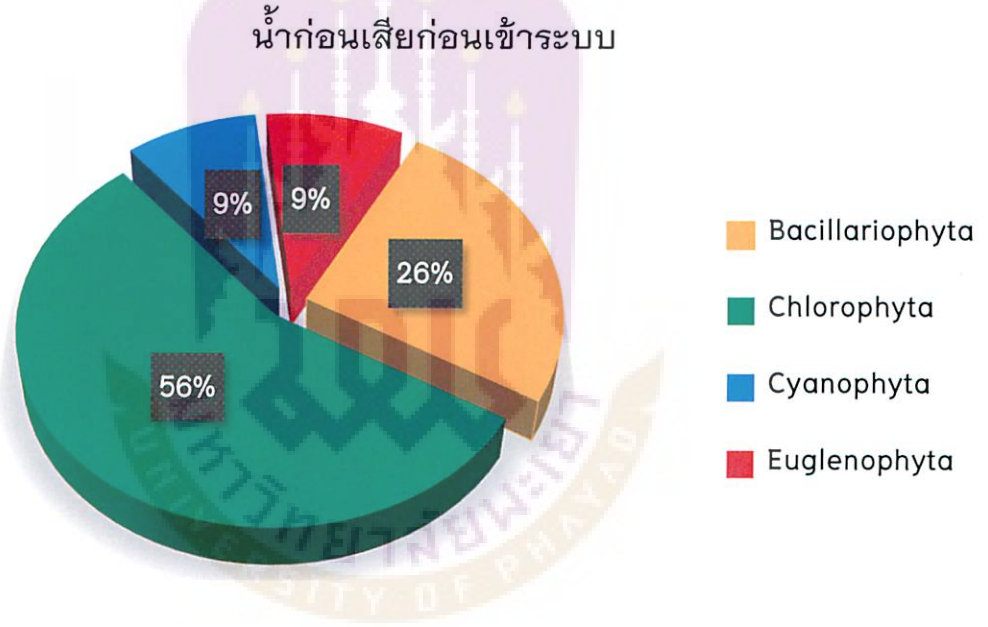
4. ชุดการทดลองพืชกกลังกา พบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 4 Divisions 33 genera 60 species โดยแพลงก์ตอนพืชที่มีจำนวนชนิดสูงสุดคือ (Division Chlorophyta 44% ได้แก่ *Scenedesmus*

sp.1 Scenedesmus sp.1 Scenedesmus sp.8)(Division Bacillariophyta 38% ได้แก่ *Cyclotella* sp.1 *Melosira varians Gomphonema sp.2*) (Division Euglenophyta 11% ได้แก่ *Euglena* sp.2, *Phacus orbicularis Euglena* sp.1) (Division Cyanophyta 7% ได้แก่ *Pseudanabaena* sp.1 *Chroococcus* sp.1 *Cyanosarcina* sp.1) ตามลำดับ (ภาพ 6)

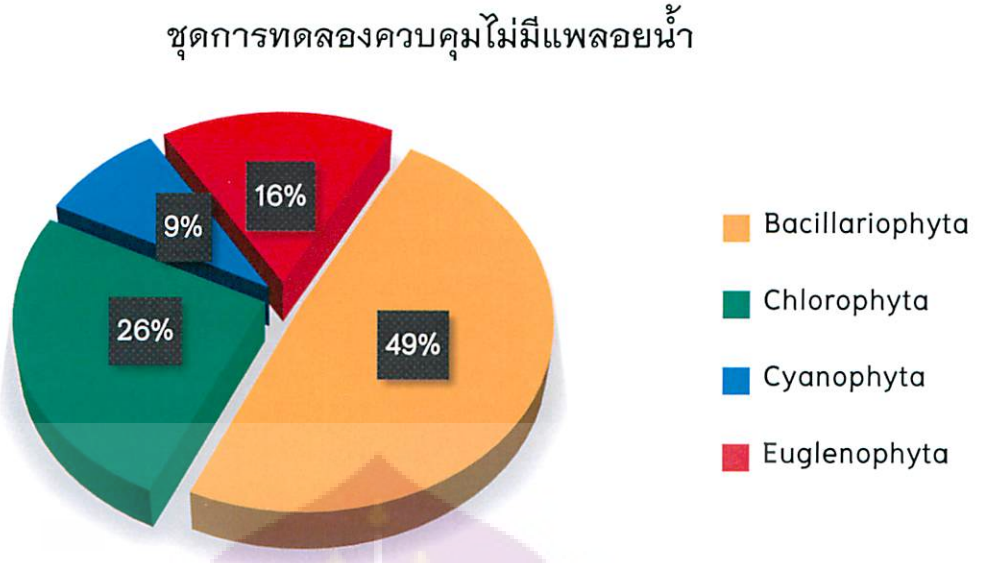
5. ชุดการทดลองพืชไอริส พบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 4 Divisions 34 genera 61 species โดยแพลงก์ตอนพืชที่มีจำนวนชนิดสูงสุดคือ (Division Bacillariophyta 37% ได้แก่ *Cyclotella* sp.1 *Gomphonema* sp.2 *Eunotia* sp.1) (Division Chlorophyta 33% ได้แก่ *Scenedesmus sp.1 Volvox* sp.1 *Chlorella* sp.1) (Division Euglenophyta 17% ได้แก่ *Euglena* sp.2 *Euglena* sp.7 *Euglena* sp.3) (Division Cyanophyta 13% ได้แก่ *Gloeocapsa* sp.1 *Pseudanabaena* sp.1 *Chroococcus* sp.1) ตามลำดับ (ภาพ 7) (ตาราง 3-7) เนื่องจากน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบมีความเข้มข้นของสารอาหารสูง เนื่องจากสภาพของแหล่งน้ำในบ่อเลี้ยงปลาดุกมีการเติมสารอาหารโดยแปรผันตามอายุของปลาจึงเกิดสารอินทรีย์ที่ไม่เท่ากันในบ่อเลี้ยงปลา และแพลงก์ตอนพืชมีการสังเคราะห์แสงในตอนกลางวันดีที่สุดเพื่อสร้างอาหาร ซึ่งเป็นผลิตขั้นต้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารที่เติมลงไปในแหล่งน้ำ ชนิดและปริมาณของแพลงตอนพืชหลายกลุ่มอาจเป็นดัชนีชี้วัดสภาพของแหล่งน้ำ แพลงก์ตอนพืชบางชนิดสามารถดูดซึมสารอาหารได้ดีทำให้เกิดการกระจายตัวเป็นจำนวนมาก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Schreurs., (1992) และ Alam et al.,(2001) กล่าวว่าขนาดของเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการกำหนดโครงสร้างชั้นอาหารในการถ่ายโอนพลังงานของห่วงโซ่อาหาร และแหล่งน้ำนิ่งที่มวลน้ำไม่มีการเคลื่อนตัวจึงทำให้สารอาหารมีปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกันในบริเวณส่วนต่างๆ ของแหล่งน้ำ โดยทั่วไปแหล่งน้ำนิ่งตามธรรมชาติมักพบปริมาณสารอาหารโดยมีความเข้มข้นมากสุดบริเวณใต้แหล่งน้ำ ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการกำหนดอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำเป็นจำนวนมากขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช เช่น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ อุณหภูมิของน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง จึงเกิดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชบางชนิด

น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วย ชุดการทดลองควบคุมไม่มีแพลอยน้ำไม่ปลูกพืช ชุดการทดลองควบคุมมีแพลอยน้ำไม่มีปลูกพืช ให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากไม่มีพืชมาบำบัดจึงไม่มีการดูดซับของสารอาหาร แต่ยังมีกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมีการเปลี่ยนแปลงของสารอาหาร ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชบางชนิดที่เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ และชุดการทดลองที่ปลูกด้วยต้นไอริส เนื่องจากพืชไอริสไม่สามารถปรับตัวในสภาวะที่น้ำมีความเข้มข้นของสารอาหารสูงได้ จึงมีการดูดซับของสารอาหารได้น้อย ทำให้น้ำ

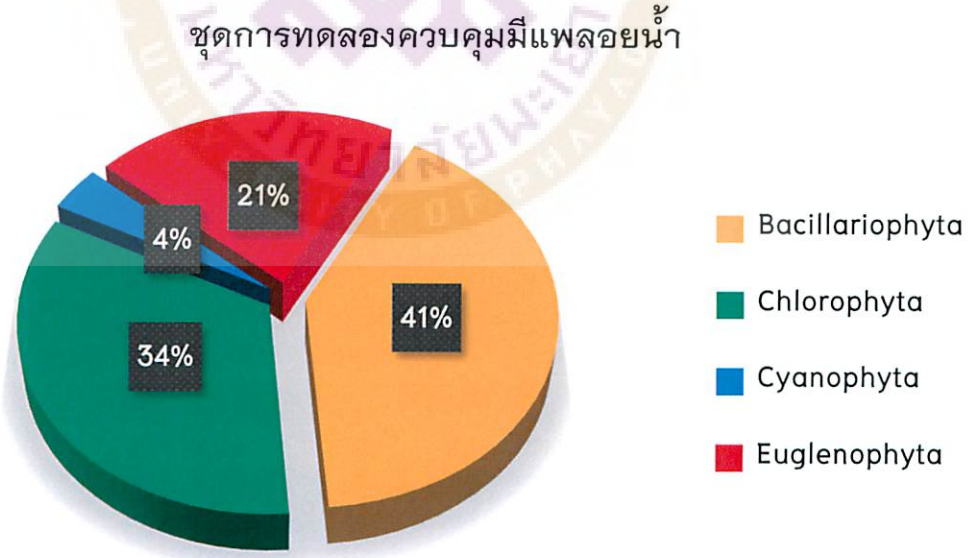
เน่าเสีย และช่วงสุดท้ายของการทดลองมีการตายของพืชไอริสเกิดขึ้นทำให้ขาดแหล่งผลิตออกซิเจนจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง จึงเกิดแพลงก์ตอนพืชที่ไม่ใช้ออกซิเจนเจริญเติบโต และเพิ่มจำนวนเซลล์ (โสมนัส สมประเสริฐ และคณะ, 2547) เมื่อเทียบกับชุดการทดลองพืชกกลังกา ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียดีที่สุด เนื่องจากพืชกกลังกาเจริญเติบโต และทนต่อสภาพน้ำที่มีความเข้มข้นของสารอาหารสูงทำให้สามารถดูดซับสารอาหารได้ รากพืชที่ยาวยังเป็นที่ยึดเกาะสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทั้งเนื้อเยื่อของพืชกกลังกาจะมีแพลงก์ตอนพืชที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงเกาะอยู่หนาแน่น ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544)



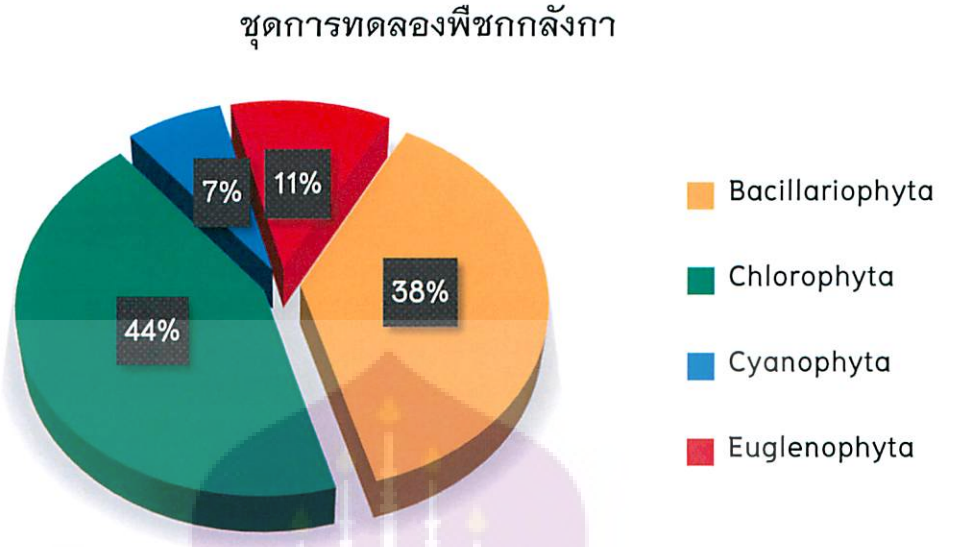
ภาพ 3 จำนวนชนิดแพลงก์ตอนพืชที่พบแต่ละดิวิชั่นของน้ำก่อนเข้าระบบ (IN) เฉลี่ยตั้งแต่เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ.2559 ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ



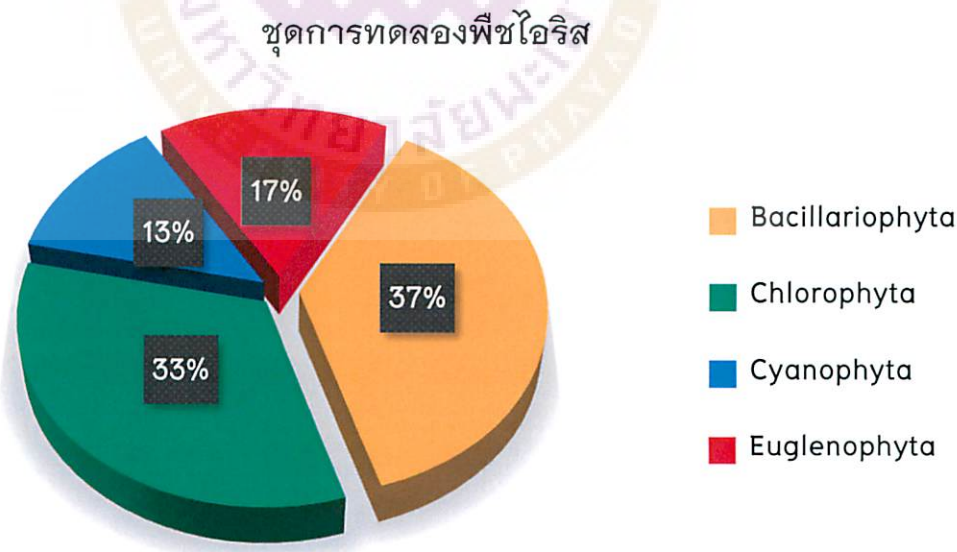
ภาพ 4 จำนวนชนิดแพลงก์ตอนพืชที่พบแต่ละดิวิชั่นของชุดการทดลองไม่มีแพลอยน้ำ (C) เฉลี่ยตั้งแต่เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ.2559 ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ



ภาพ 5 จำนวนชนิดแพลงก์ตอนพืชที่พบแต่ละดิวิชั่นของชุดการทดลองมีแพลอยน้ำ (CF) เฉลี่ยตั้งแต่เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ.2559 ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ



ภาพ 6 จำนวนชนิดแพลงก์ตอนพืชที่พบแต่ละดิวิชั่นของชุดการทดลองพืชกกลังกา (CY) เฉลี่ยตั้งแต่เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ.2559 ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ



ภาพ 7 จำนวนชนิดแพลงก์ตอนพืชที่พบแต่ละดิวิชั่นของชุดการทดลองพืชไอริส (N) เฉลี่ยตั้งแต่เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ.2559 ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ

ตาราง 2 ชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่พบโดยเฉลี่ยจากชุดการทดลองน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (IN)

Division	Genus	Species	ค่าเฉลี่ยของชนิดแพลงก์ตอนพืช (individual /L)
Bacillariophyta	*Cyclotella*	*Cyclotella* sp.1	39,382±25,162
	Diatomella	*Diatomella balfouriana*	314±320
	Nitzschia	*Nitzschia palea*	199±281
	Melosira	*Melosira* sp.1	127±180
	Nitzschia	*Nitzschia* sp.1	466±129
	Fragilaria	*Fragilaria* sp.1	194±141
	Melosira	*Melosira varians*	878±344
	Pinnularia	*Pinnularia* sp.5	86±122
	Diatomella	*Diatomella* sp.1	70±100
	Pinnularia	*Pinnularia* sp.1	200±282
Chlorophyta	*Coelastrum*	*Coelastrum astroideum*	169±238
	Scenedesmus	*Scenedesmus acuminatus*	11,183±8,574
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.1	21,478±22,546
	Tetraspora	*Tetraspora* sp.1	86±122
	Microspora	*Microspora* sp.1	180±128
	Closteriopsis	*Closteriopsis* sp.1	1,230±598
	Didymocystis	*Didymocystis* sp.1	1,071±1,171
	Eudorina	*Eudorina elegans*	209±296

ตาราง 2 ชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่พบโดยเฉลี่ยจากชุดการทดลองน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (IN) (ต่อ)

Division	Genus	Species	ค่าเฉลี่ยของชนิดแพลงก์ตอนพืช (individual /L)
	Pediastrum	*Pediastrum duplex*	6,105±4,428
	Coelastrum	*Coelastrum verrucosum*	880±1244
	Kirchneriella	*Kirchneriella lunaris*	1,899±2,686
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.6	1,214±1,411
	Chlorella	*Chlorella* sp.1	3,422±2,256
	Tetrahedron	*Tetrahedron incus*	508±299
	Coelastrum	*Coelastrum microsporum*	5,381±1,790
	Monoraphidium	*Monoraphidium tortile*	3,724±3,121
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.2	120±169
	Monoraphidium	*Monoraphidium contortum*	848±1199
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.3	2,163±1,291
	Pediastrum	*Pediastrum obtusum*	193±273
	Micractinium	*Micractinium quadrisetum*	4,125±3,064
	Chlamydomonas	*Chlamydomonas* sp.1	116±163
	Actinastrum	*Actinastrum* sp.1	2,279±2,950
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.7	2,001±2,829
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.8	2,353±1,764

ตาราง 2 ชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่พบโดยเฉลี่ยจากชุดการทดลองน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (IN) (ต่อ)

Division	Genus	Species	ค่าเฉลี่ยของชนิดแพลงก์ตอนพืช (individual /L)
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.5	14,941±20,001
	Actinastrum	*Actinastrum hantzschii*	806±671
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.4	367±519
	Actinastrum	*Actinastrum* sp.2	688±712
	Closteriopsis	*Closteriopsis* sp.2	137±194
Cyanophyta	*Cyanosarcina*	*Cyanosarcina* sp.1	305±431
	Pseudanabaena	*Pseudanabaena* sp.1	11,021±14,603
	Merismopedia	*Merismopedia punctata*	3,500±2,838
	Gloeocapsa	*Gloeocapsa* sp.1	306±433
Euglenophyta	*Euglena*	*Euglena* sp.1	101±143
	Euglena	*Euglena* sp.2	5,580±4,275
	Phacus	*Phacus orbicularis*	458±449
	Peranema	*Peranema* sp.	83±117
	Phacus	*Phacus ranula*	358±379
	Lepocinclis	*Lepocinclis* sp.	64±90
	Phacus	*Phacus suecicus*	64±90
	Lepocinclis	*Lepocinclis playfairiana*	110±156
	Lepocinclis	*Lepocinclis* sp.1	326±460

ตาราง 2 ชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่พบโดยเฉลี่ยจากชุดการทดลองน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (IN) (ต่อ)

Division	Genus	Species	ค่าเฉลี่ยของชนิดแพลงก์ตอนพืช (individual /L)
	Trachelomonas	*Trachelomonas superba*	354±501
	Euglena	*Euglena* sp.4	641±479
	Euglena	*Euglena anabaena*	171±242
	Euglena	*Euglena geminculata*	285±403
	Trachelomonas	*Trachelomonas* sp.1	955±1350
	Peranema	*Peranema trichophorum*	183±259
	Lepocinclis	*Lepocinclis acus*	5,251±6,912
	Euglena	*Euglena* sp.5	102±144
	Phacus	*Phacus longicauda*	246±348
	Euglena	*Euglena* sp.6	102±145

ตาราง 3 ชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่พบโดยเฉลี่ยจากชุดการทดลองควบคุมไม่มีแพลอยน้ำ (C) ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ

Division	Genus	Species	ค่าเฉลี่ยของชนิดแพลงก์ตอนพืช (individual /L)
Bacillariophyta	*Cyclotella*	*Cyclotella* sp.1	42,201±14,158
	Diatomella	*Diatomella balfouriana*	1,501±1,907
	Melosira	*Melosira* sp.1	208±294
	Gomphonema	*Gomphonema* sp.1	802±692
	Gomphonema	*Gomphonema gracile*	2,104±2,976
	Eunotia	*Eunotia* sp.1	1,772±234
	Gomphonema	*Gomphonema* sp.2	8675±6577
	Nitzschia	*Nitzschia* sp.1	1,012±1,022
	Fragilaria	*Fragilaria* sp.1	3,602±4,631
	Melosira	*Melosira varians*	13,181±8,884
	Cocconeis	*Cocconeis placentura*	11,778±2,310
	Navicula	*Navicula viridula*	534±756
	Diatomella	*Diatomella* sp.1	75±106
	Nitzschia	*Nitzschia* sp.3	217±306
	Nitzschia	*Nitzschia* sp.2	9,128±3,882
	Eunotia	*Eunotia* sp.2	4,736±4,392
	Pinnularia	*Pinnularia* sp.1	669±946
	Pinnularia	*Pinnularia* sp.4	626±885

ตาราง 3 ชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่พบโดยเฉลี่ยจากชุดการทดลองควบคุมไม่มีแพลอยน้ำ (C) ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ (ต่อ)

Division	Genus	Species	ค่าเฉลี่ยของชนิดแพลงก์ตอนพืช (individual /L)
Chlorophyta	*Coelastrum*	*Coelastrum astroideum*	104±147
	Scenedesmus	*Scenedesmus acuminatus*	8,419±3,967
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.1	20,736±24,677
	Tetraspora	*Tetraspora* sp.1	4,653±6,580
	Microspora	*Microspora* sp.1	1,385±1,578
	Closteriopsis	*Closteriopsis* sp.1	208±147
	Didymocystis	*Didymocystis* sp.1	543±385
	Eudorina	*Eudorina elegans*	796±886
	Volvox	*Volvox* sp.1	870±1018
	Pediastrum	*Pediastrum duplex*	3,538±5,004
	Coelastrum	*Coelastrum verrucosum*	222±314
	Kirchneriella	*Kirchneriella lunaris*	75±106
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.6	178±252
	Chlorella	*Chlorella* sp.1	6,549±2,408
	Tetrahedron	*Tetrahedron incus*	522±391
	Coelastrum	*Coelastrum microsporum*	1,217±884
	Monoraphidium	*Monoraphidium tortile*	1,237±458
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.2	142±200

ตาราง 3 ชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่พบโดยเฉลี่ยจากชุดการทดลองควบคุมไม่มีแพลอยน้ำ (C) ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ (ต่อ)

Division	Genus	Species	ค่าเฉลี่ยของชนิดแพลงก์ตอนพืช (individual /L)
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.3	479±382
	Actinastrum	*Actinastrum* sp.1	91±128
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.7	104±147
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.5	1,811±1,452
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.8	2047±2673
	Actinastrum	*Actinastrum hantzschii*	167±236
	Actinastrum	*Actinastrum* sp.2	229±324
Cyanophyta	*Cyanosarcina*	*Cyanosarcina* sp.1	4,535±6,241
	Pseudanabaena	*Pseudanabaena* sp.1	1,508±1,078
	Gloeocapsa	*Gloeocapsa* sp.1	3,610±2,922
	Chroococcus	*Chroococcus* sp.1	8,544±8,617
	Oscillatoria	*Oscillatoria* sp.1	1,333±1,886
Euglenophyta	*Euglena*	*Euglena* sp.1	154±218
	Euglena	*Euglena* sp.2	24,978±12,177
	Phacus	*Phacus orbicularis*	76±108
	Lepocinclis	*Lepocinclis* sp.	185±262
	Lepocinclis	*Lepocinclis playfairiana*	5,657±8,000
	Trachelomonas	*Trachelomonas volvocinopsis*	111±157

ตาราง 3 นิดของแพลงก์ตอนพืชที่พบโดยเฉลี่ยจากชุดการทดลองควบคุมไม่มีแพลอยน้ำ (C) ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ (ต่อ)

Division	Genus	Species	ค่าเฉลี่ยของชนิดแพลงก์ตอนพืช (individual /L)
	Euglena	*Euglena anabaena*	2,304±3,258
	Lepocinclis	*Lepocinclis spirogyroides*	278±393
	Strombomonas	*Strombomonas gibberosa*	333±471
	Lepocinclis	*Lepocinclis acus*	1,063±1,504
	Euglena	*Euglena* sp.7	328±464
	Phacus	*Phacus longicauda*	855±1,209

ตาราง 4 ชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่พบโดยเฉลี่ยจากชุดการทดลองควบคุมมีแพลอยน้ำ (CF) ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ

Division	Genus	Species	ค่าเฉลี่ยของชนิดแพลงก์ตอนพืช (individual /L)
Bacillariophyta	*Cyclotella*	*Cyclotella* sp.1	30,214±17,901
	Diatomella	*Diatomella balfouriana*	960±1,357
	Neidium	*Neidium* sp.1	315±445
	Melosira	*Melosira* sp.1	613±867
	Gomphonema	*Gomphonema* sp.1	804±1,137
	Gomphonema	*Gomphonema gracile*	247±349
	Eunotia	*Eunotia* sp.1	2,810±1,513
	Gomphonema	*Gomphonema* sp.2	5,563±4,462
	Nitzschia	*Nitzschia* sp.1	2,045±1,446
	Fragilaria	*Fragilaria* sp.1	309±253
	Melosira	*Melosira varians*	8,683±8,399
	Cocconeis	*Cocconeis placentura*	4,870±2,985
	Navicula	*Navicula viridula*	105±148
	Diatomella	*Diatomella* sp.1	82±116
	Nitzschia	*Nitzschia* sp.3	668±945
	Nitzschia	*Nitzschia* sp.2	5,647±3,994
	Eunotia	*Eunotia* sp.2	176±248
	Pinnularia	*Pinnularia* sp.1	265±375

ตาราง 4 ชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่พบโดยเฉลี่ยจากชุดการทดลองควบคุมมีแพลอยน้ำ (CF) ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ (ต่อ)

Division	Genus	Species	ค่าเฉลี่ยของชนิดแพลงก์ตอนพืช (individual /L)
Chlorophyta	*Scenedesmus*	*Scenedesmus acuminatus*	4,878±4,182
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.1	19,602±27,125
	Tetraspora	*Tetraspora* sp.1	1,426±2,017
	Microspora	*Microspora* sp.1	1,977±1,743
	Eudorina	*Eudorina elegans*	136±192
	Volvox	*Volvox* sp.1	14,428±20,003
	Kirchneriella	*Kirchneriella lunaris*	450±365
	Chlorella	*Chlorella* sp.1	3,251±2,731
	Tetrahedron	*Tetrahedron incus*	539±375
	Cosmarium	*Cosmarium* sp.1	127±179
	Coelastrum	*Coelastrum microsporum*	1,663±2,352
	Monoraphidium	*Monoraphidium tortile*	736±315
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.2	191±270
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.3	102±144
	Micractinium	*Micractinium quadrisetum*	118±167
	Actinastrum	*Actinastrum* sp.1	405±573
	Pediastrum	*Pediastrum duplex*	1,620±2,083

ตาราง 4 ชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่พบโดยเฉลี่ยจากชุดการทดลองควบคุมมีแพลอยน้ำ (CF) ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ (ต่อ)

Division	Genus	Species	ค่าเฉลี่ยของชนิดแพลงก์ตอนพืช (individual /L)
	Closteriopsis	*Closteriopsis* sp.1	263±193
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.5	258±364
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.8	2,992±3,107
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.6	96±135
Cyanophyta	*Cyanosarcina*	*Cyanosarcina* sp.1	304±430
	Pseudanabaena	*Pseudanabaena* sp.1	1,262±944
	Gloeocapsa	*Gloeocapsa* sp.1	565±799
	Chroococcus	*Chroococcus* sp.1	3,634±2,328
	Oscillatoria	*Oscillatoria* sp.1	360±509
Euglenophyta	*Euglena*	*Euglena* sp.1	105±148
	Euglena	*Euglena* sp.2	24,560±15,839
	Phacus	*Phacus orbicularis*	70±99
	Lepocinclis	*Lepocinclis* sp.	219±310
	Lepocinclis	*Lepocinclis playfairiana*	3,424±4,225
	Euglena	*Euglena* sp.4	598±846
	Euglena	*Euglena anabaena*	1,865±1,523
	Lepocinclis	*Lepocinclis spirogyroides*	677±958
	Lepocinclis	*Lepocinclis acus*	1,008±1,425
	Phacus	*Phacus* sp.1	1,479±2,091
	Phacus	*Phacus longicauda*	515±728

ตาราง 5 ชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่พบโดยเฉลี่ยจากชุดการทดลองพืชกกสังกา (CY) ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ

Division	Genus	Species	ค่าเฉลี่ยของชนิดแพลงก์ตอนพืช (individual /L)
Bacillariophyta	*Cyclotella*	*Cyclotella* sp.1	24,409±6,036
	Diatomella	*Diatomella balfouriana*	179±253
	Nitzschia	*Nitzschia palea*	280±396
	Melosira	*Melosira* sp.1	521±737
	Gomphonema	*Gomphonema* sp.1	249±352
	Gomphonema	*Gomphonema gracile*	296±419
	Eunotia	*Eunotia* sp.1	555±453
	Gomphonema	*Gomphonema* sp.2	1,991±1,437
	Nitzschia	*Nitzschia* sp.1	1,354±1,245
	Fragilaria	*Fragilaria* sp.1	263±372
	Melosira	*Melosira varians*	4,998±3,936
	Cocconeis	*Cocconeis placentura*	911±388
	Diatomella	*Diatomella* sp.1	79±111
	Nitzschia	*Nitzschia* sp.3	217±154
	Nitzschia	*Nitzschia* sp.2	742±1,050
	Cyclotella	*Cyclotella meneghiniana*	466±444
	Pinnularia	*Pinnularia* sp.1	171±241
	Pinnularia	*Pinnularia* sp.3	114±161

ตาราง 5 ชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่พบโดยเฉลี่ยจากชุดการทดลองพืชกกลังกา (CY) ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ (ต่อ)

Division	Genus	Species	ค่าเฉลี่ยของชนิดแพลงก์ตอนพืช (individual /L)
Chlorophyta	*Scenedesmus*	*Scenedesmus acuminatus*	2,259±1,256
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.1	20,221±22,769
	Tetraspora	*Tetraspora* sp.1	545±771
	Microspora	*Microspora* sp.1	942±685
	Closteriopsis	*Closteriopsis* sp.1	1,031±202
	Didymocystis	*Didymocystis* sp.1	1,328±996
	Eudorina	*Eudorina elegans*	104±146
	Volvox	*Volvox* sp.1	718±548
	Pediastrum	*Pediastrum duplex*	3,460±3,809
	Kirchneriella	*Kirchneriella lunaris*	2,236±941
	Ulothrix	*Ulothrix* sp.1	166±235
	Chlorella	*Chlorella* sp.1	4,079±1,545
	Tetrahedron	*Tetrahedron incus*	973±299
	Cosmarium	*Cosmarium* sp.1	346±489
	Coelastrum	*Coelastrum microsporum*	660±933
	Monoraphidium	*Monoraphidium tortile*	279±197
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.2	168±238
	Monoraphidium	*Monoraphidium contortum*	114±162
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.3	1,640±1,460

ตาราง 5 ชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่พบโดยเฉลี่ยจากชุดการทดลองพืชกกลังกา (CY) ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ (ต่อ)

Division	Genus	Species	ค่าเฉลี่ยของชนิดแพลงก์ตอนพืช (individual /L)
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.7	827±765
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.8	3,773±4,943
	Actinastrum	*Actinastrum hantzschii*	151±213
	Actinastrum	*Actinastrum* sp.2	125±177
Cyanophyta	*Cyanosarcina*	*Cyanosarcina* sp.1	442±625
	Pseudanabaena	*Pseudanabaena* sp.1	3,286±2,475
	Chroococcus	*Chroococcus* sp.1	2,877±1,088
	Oscillatoria	*Oscillatoria* sp.1	229±324
Euglenophyta	*Euglena*	*Euglena* sp.1	807±1141
	Euglena	*Euglena* sp.2	7,931±1,775
	Phacus	*Phacus orbicularis*	859±1,215
	Phacus	*Phacus ranula*	88±124
	Lepocinclis	*Lepocinclis* sp.	309±437
	Lepocinclis	*Lepocinclis playfairiana*	153±217
	Entosiphon	*Entosiphon ovatus*	117±166
	Trachelomonas	*Trachelomonas volvocinopsis*	170±240
	Euglena	*Euglena anabaena*	84±119
	Lepocinclis	*Lepocinclis acus*	258±365

ตาราง 5 ชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่พบโดยเฉลี่ยจากชุดการทดลองพืชกกลังกา (CY) ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ (ต่อ)

Division	Genus	Species	ค่าเฉลี่ยของชนิดแพลงก์ตอนพืช (individual /L)
	Phacus	*Phacus* sp.1	111±157
	Euglena	*Euglena* sp.7	139±197
	Euglena	*Euglena* sp.5	112±158
	Euglena	*Euglena* sp.6	172±243

ตาราง 6 ชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่พบโดยเฉลี่ยจากชุดการทดลองพืชไอริส (N) ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ

Division	Genus	Species	ค่าเฉลี่ยของชนิดแพลงก์ตอนพืช (individual /L)
Bacillariophyta	*Cyclotella*	*Cyclotella* sp.1	21,642±5,047
	Diatomella	*Diatomella balfouriana*	1,313±329
	Melosira	*Melosira* sp.1	472±668
	Gomphonema	*Gomphonema* sp.1	2,421±2,402
	Eunotia	*Eunotia* sp.1	4,752±3,459
	Gomphonema	*Gomphonema* sp.2	6,013±2,277
	Nitzschia	*Nitzschia* sp.1	2,459±3,069
	Fragilaria	*Fragilaria* sp.1	2,116±2,992
	Melosira	*Melosira varians*	4,749±3,157
	Cocconeis	*Cocconeis placentura*	1,807±1,313
	Navicula	*Navicula viridula*	961±1,360
	Diatomella	*Diatomella* sp.1	324±458
	Pinnularia	*Pinnularia* sp.2	761±704
	Nitzschia	*Nitzschia* sp.2	1,886±1,608
	Eunotia	*Eunotia* sp.2	227±321
	Pinnularia	*Pinnularia* sp.3	198±280
	Cyclotella	*Cyclotella meneghiniana*	1,163±1,195
	Pinnularia	*Pinnularia* sp.1	585±627

ตาราง 6 ชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่พบโดยเฉลี่ยจากชุดการทดลองพืชไอริส (N) ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ (ต่อ)

Division	Genus	Species	ค่าเฉลี่ยของชนิดแพลงก์ตอนพืช (individual /L)
Chlorophyta	*Scenedesmus*	*Scenedesmus acuminatus*	3395±1399
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.1	15,095±19,640
	Tetraspora	*Tetraspora* sp.1	673±952
	Microspora	*Microspora* sp.1	5,495±4,123
	Closteriopsis	*Closteriopsis* sp.1	501±198
	Didymocystis	*Didymocystis* sp.1	393±399
	Eudorina	*Eudorina elegans*	101±142
	Volvox	*Volvox* sp.1	5,789±7,809
	Pediastrum	*Pediastrum duplex*	1,842±1,884
	Golenkinia	*Golenkinia* sp.1	102±144
	Kirchneriella	*Kirchneriella lunaris*	730±717
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.6	60±84
	Ulothrix	*Ulothrix* sp.1	471±666
	Chlorella	*Chlorella* sp.1	5,666±2,591
	Tetrahedron	*Tetrahedron incus*	455±192
	Cosmarium	*Cosmarium* sp.1	283±400
	Coelastrum	*Coelastrum microsporum*	735±1,039
	Monoraphidium	*Monoraphidium tortile*	553±582
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.2	107±152
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.3	260±368

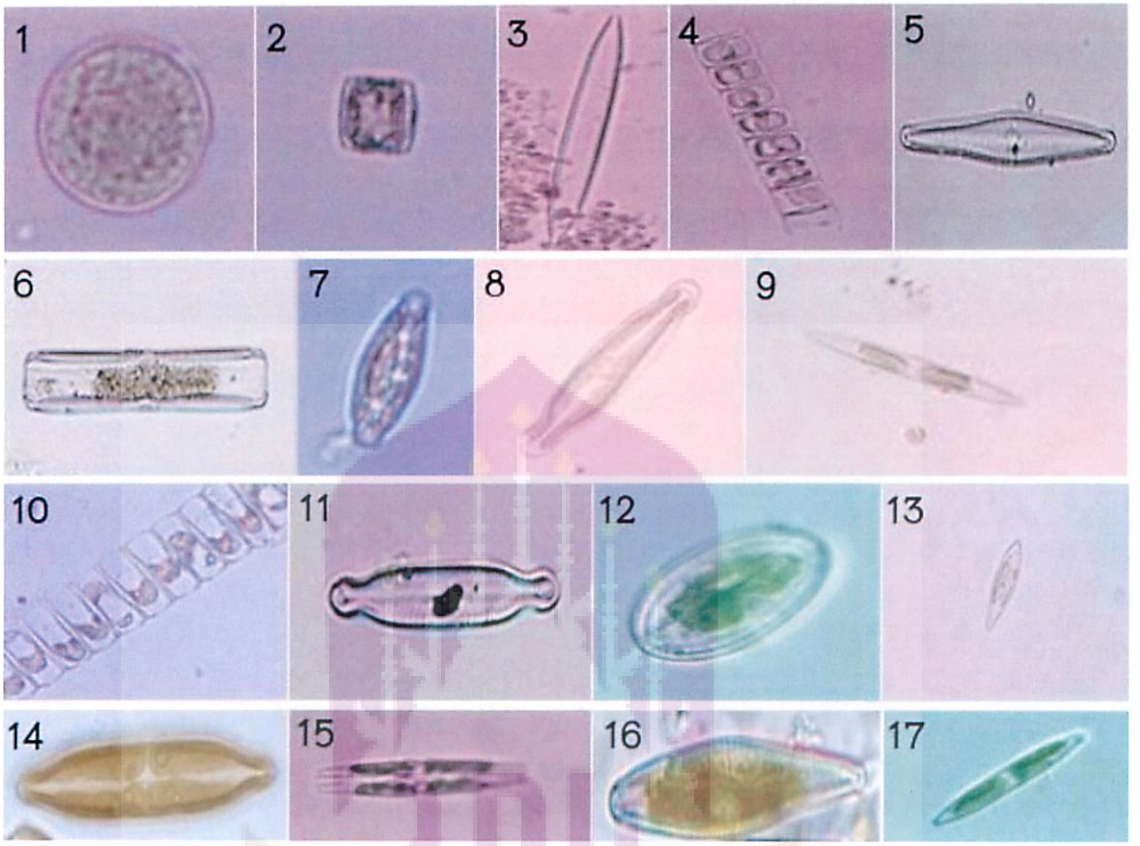
ตาราง 6 ชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่พบโดยเฉลี่ยจากชุดการทดลองพืชไอริส (N) ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ (ต่อ)

Division	Genus	Species	ค่าเฉลี่ยของชนิดแพลงก์ตอนพืช (individual /L)
	Micractinium	*Micractinium quadrisetum*	2,780±3,932
	Actinastrum	*Actinastrum* sp.1	367±354
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.7	300±424
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.5	1,521±1,328
	Scenedesmus	*Scenedesmus* sp.8	1,835±2,361
	Actinastrum	*Actinastrum hantzschii*	98±138
Cyanophyta	*Cyanosarcina*	*Cyanosarcina* sp.1	101±142
	Pseudanabaena	*Pseudanabaena* sp.1	4,745±4,179
	Gloeocapsa	*Gloeocapsa* sp.1	10,440±14,765
	Chroococcus	*Chroococcus* sp.1	1,556±815
Euglenophyta	*Euglena*	*Euglena* sp.1	837±1,184
	Euglena	*Euglena* sp.2	17,462±8,793
	Phacus	*Phacus orbicularis*	210±297
	Lepocinclis	*Lepocinclis* sp.	1,465±2,072
	Lepocinclis	*Lepocinclis playfairiana*	895±253
	Euglena	*Euglena* sp.4	175±247
	Euglena	*Euglena anabaena*	626±886
	Lepocinclis	*Lepocinclis spirogyroides*	133±188

ตาราง 6 ชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่พบโดยเฉลี่ยจากชุดการทดลองพืชไอริส (N) ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ (ต่อ)

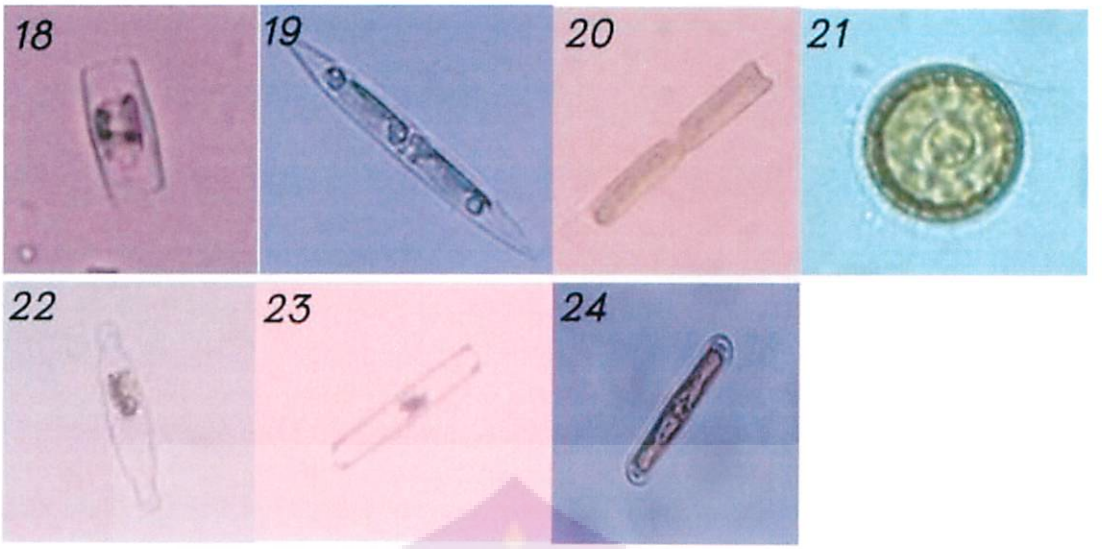
Division	Genus	Species	ค่าเฉลี่ยของชนิดแพลงก์ตอนพืช (individual /L)
	Lepocinclis	*Lepocinclis acus*	729±521
	Phacus	*Phacus* sp.1	353±500
	Euglena	*Euglena* sp.7	1,760±2,489
	Phacus	*Phacus longicauda*	389±550

4.1.2 รูปแพลงก์ตอนพืชทุกชนิดในดิวิชันต่างๆที่พบในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ ในเดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559



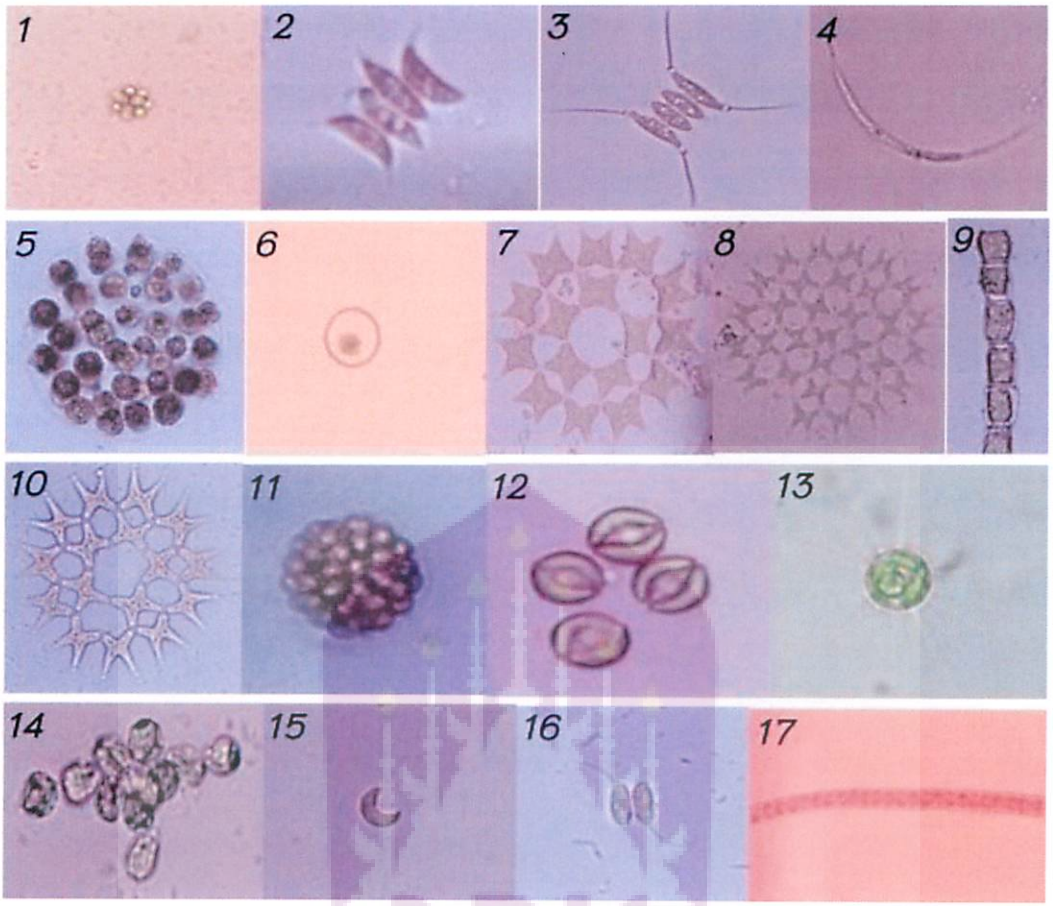
ภาพ 8 แพลงก์ตอนพืชใน Division Bacilariophyta ที่พบในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำระหว่าง เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559

1. *Cyclotella* sp.1
2. *Diatomella balfouriana*
3. *Nitzschia palea*
4. *Melosira* sp.1
5. *Gomphonema gracile*
6. *Eunotia* sp.1
7. *Navicula viridula*
8. *Pinnularia* sp.1
9. *Nitzschia* sp.1
10. *Melosira varians*
11. *Pinnularia* sp.5
12. *Cocconeis placentura*
13. *Gomphonema* sp.2
14. *Neidium* sp.1
15. *Fragilaria* sp.1
16. *Gomphonema* sp.1
17. *Nitzschia* sp.2



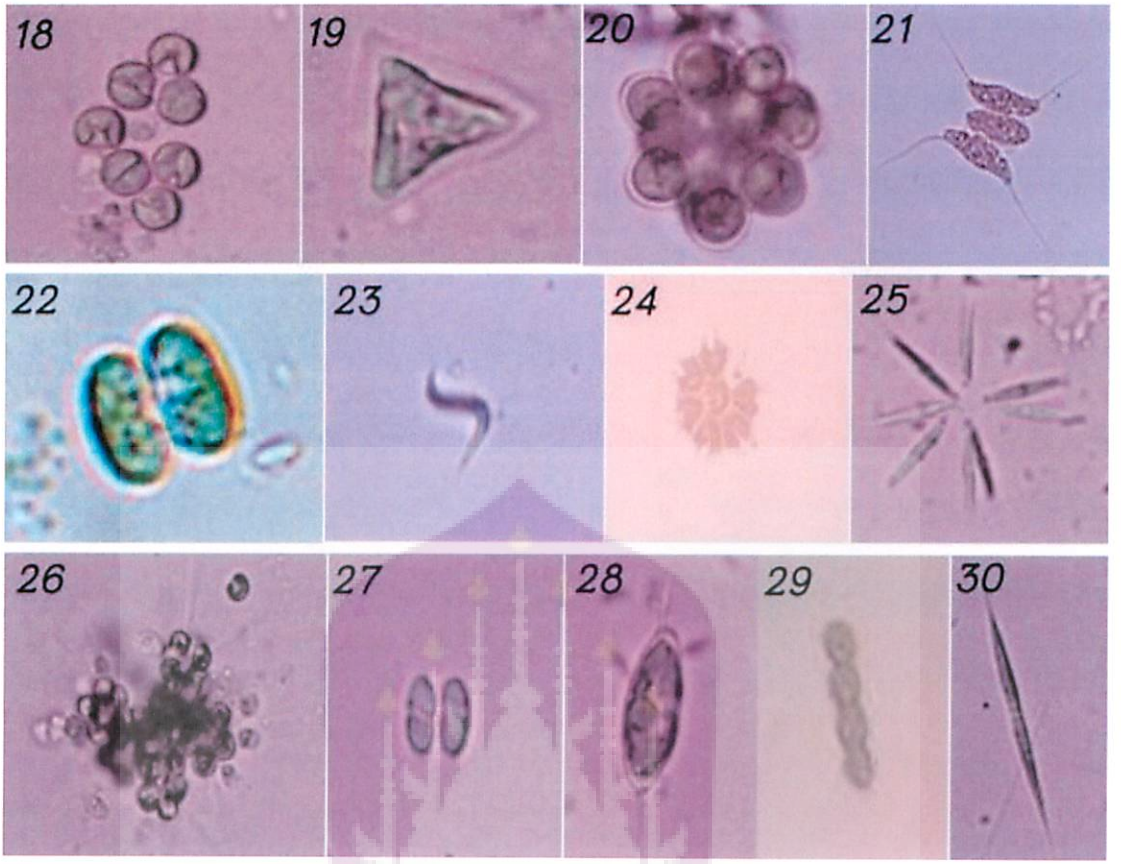
ภาพ 8 แพลงก์ตอนพืชใน Division Bacilariophyta ที่พบในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำระหว่าง เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 *(ต่อ)*

18. *Diatomella* sp.1
19. *Nitzschia* sp.3
20. *Pinnularia* sp.2
21. *Cyclotella meneghiniana*
22. *Pinnularia* sp.4
23. *Eunotia* sp.2
24. *Pinnularia* sp.3



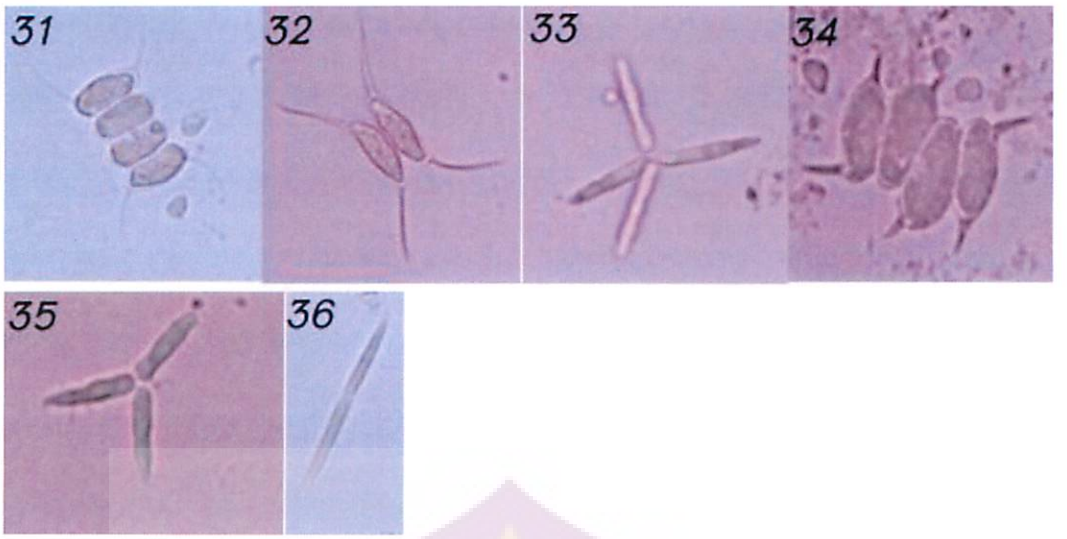
ภาพ 9 แพลงก์ตอนพืชใน Division Chlorophyta ที่พบในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ ระหว่าง เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559

1. *Coelastrum astroideum*
2. *Scenedesmus acuminatus*
3. *Scenedesmus* sp.1
4. Closteriopsis sp.1
5. *Eudorina elegans*
6. *Volvox* sp.1
7. *Pediastrum duplex*
8. *Pediastrum duplex*
9. *Microspora* sp.1
10. *Pediastrum duplex*
11. *Coelastrum verrucosum*
12. *Didymocystis* sp.1
13. *Golenkinia* sp.1
14. *Tetraspora* sp.1
15. *Kirchneriella lunaris*
16. *Scenedesmus* sp.6
17. *Ulothrix* sp.1



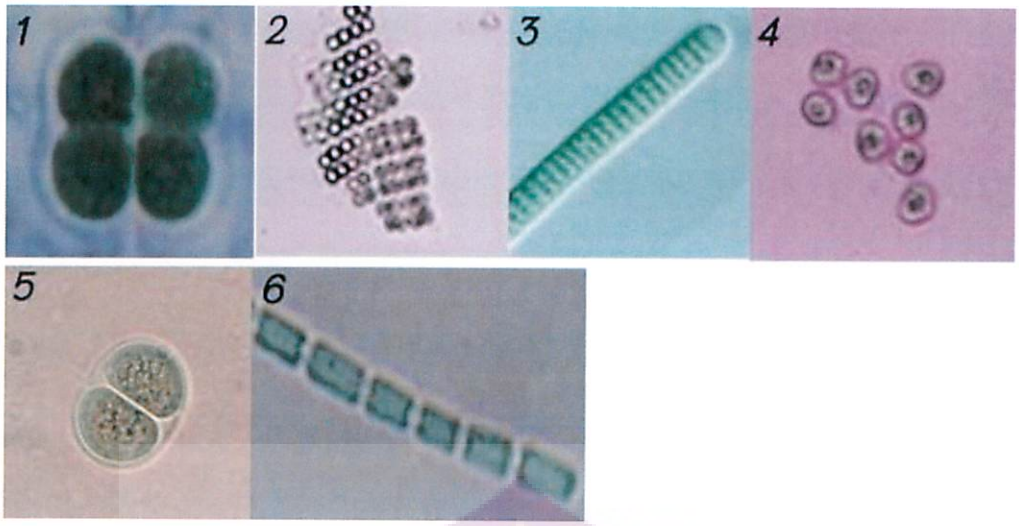
ภาพ 9 แพลงก์ตอนพืชใน Division Chlorophyta ที่พบในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ ระหว่าง เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 (ต่อ)

18. *Chlorella* sp.1
19. *Tetrahedron incus*
20. *Coelastrum microsporum*
21. Scenedesmus sp.2
22. *Cosmarium* sp.1
23. *Monoraphidium contortum*
24. *Pediastrum obtusum*
25. *Actinastrum* sp.1
26. *Micractinium quadrisetum*
27. *Chlamydomonas* sp.1
28. *Scenedesmus* sp.7
29. *Scenedesmus* sp.3
30. *Monoraphidium tortile*



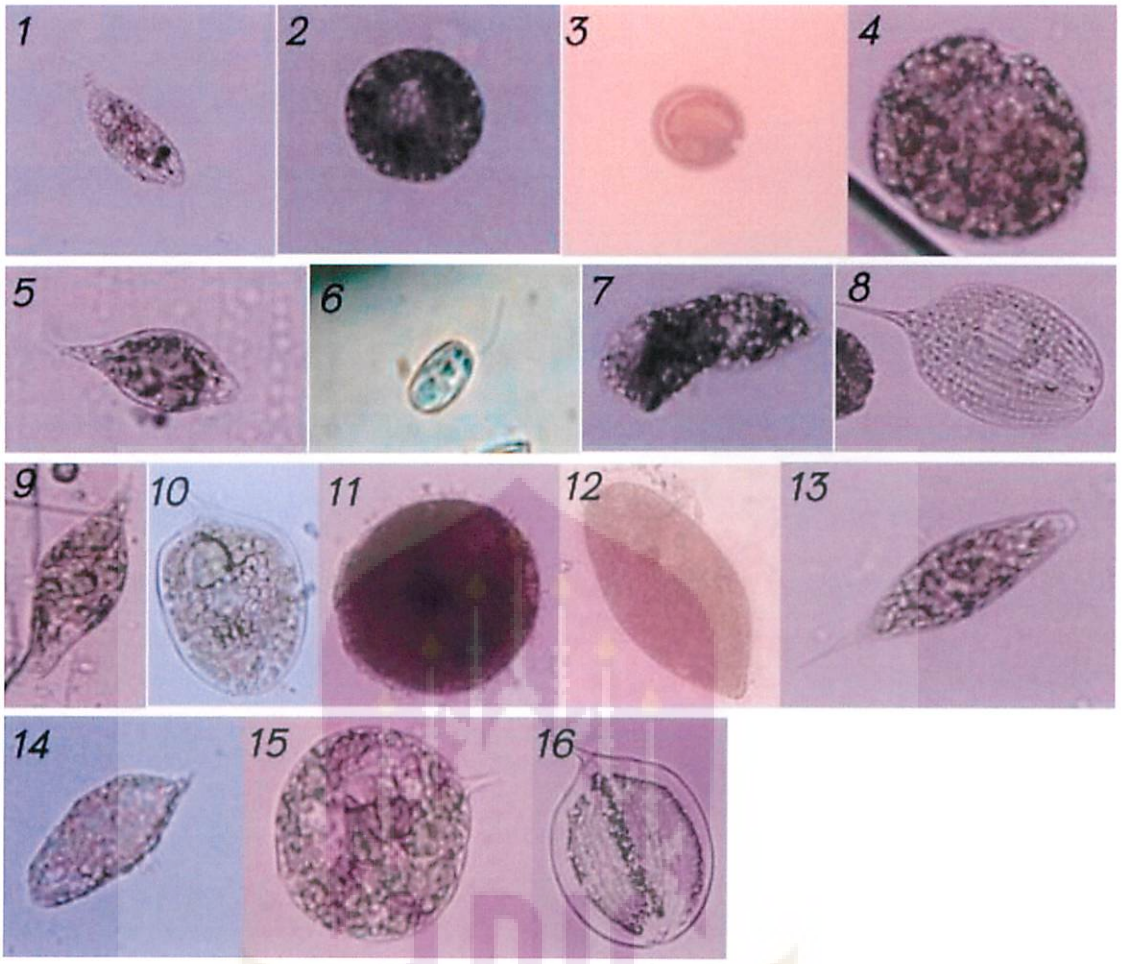
ภาพ 9 แพลงก์ตอนพืชใน Division Chlorophyta ที่พบในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ ระหว่าง เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 (ต่อ)

31. *Scenedesmus* sp.5
32. *Scenedesmus* sp.8
33. *Actinastrum hantzschii*
34. *Scenedesmus* sp.4
35. *Actinastrum* sp.2
36. *Closteriopsis* sp.2



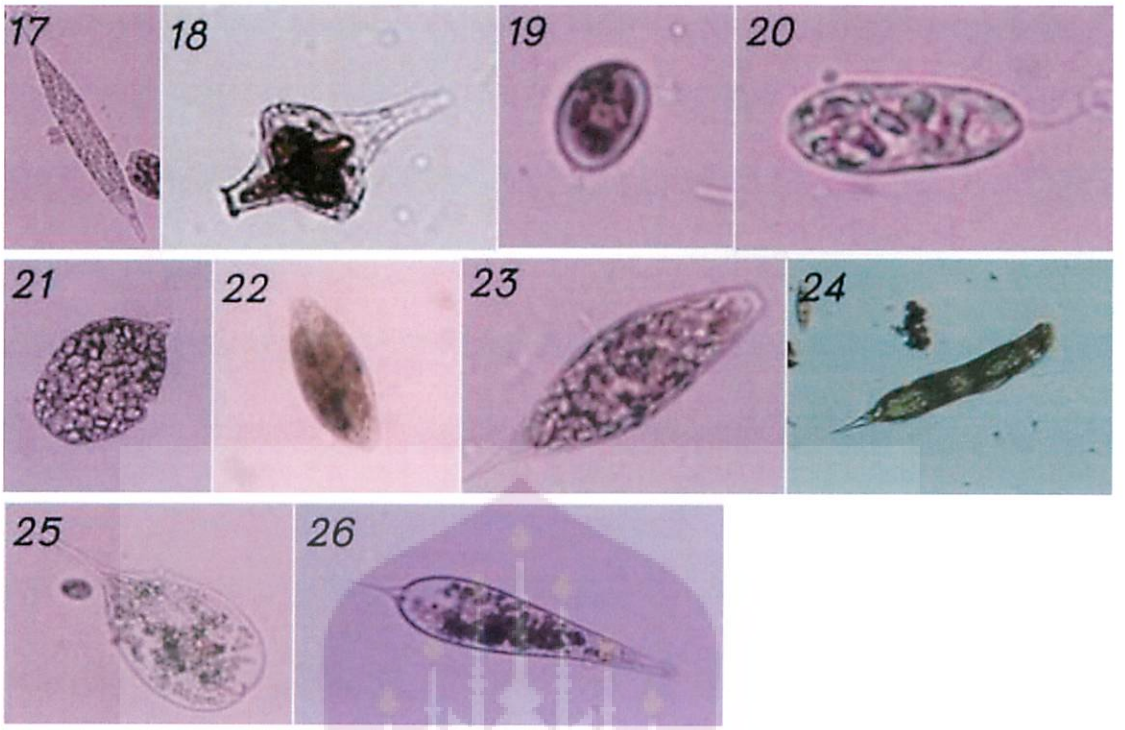
ภาพ 10 แพลงก์ตอนพืชใน Division Cyanophyta ที่พบในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ ระหว่าง เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559

1. *Cyanosarcina* sp.1
2. *Merismopedia punctata*
3. *Oscillatoria* sp.1
4. *Gloeocapsa* sp.1
5. *Chroococcus* sp.1
6. *Pseudanabaena* sp.1



ภาพ 11 แพลงก์ตอนพืชใน Division Euglenophyta ที่พบในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำระหว่าง เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559

1. *Euglena* sp.1
2. *Euglena* sp.2
3. *Trachelomonas volvocinopsis*
4. *Lepocinclis* sp.1
5. *Lepocinclis playfairiana*
6. *Entosiphon ovatus*
7. *Peranema* sp.
8. *Phacus runula*
9. *Lepocinclis playfairiana*
10. *Phacus orbicularis*
11. *Euglena* sp.
12. *Euglena* sp.4
13. *Euglena anabaena*
14. *Euglena* sp.
15. *Lepocinclis* sp.
16. *Phacus* sp.



ภาพ 11 แพลงก์ตอนพืชใน Division Euglenophyta ที่พบในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำระหว่าง เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559

17. *Lepocinclis acus*
18. Strombomonas gibberosa
19. *Trachelomonas* sp.1
20. *Peranema trichophorum*
21. *Phacus* sp.1
22. *Euglena* sp.7
23. *Euglena* sp.5
24. *Lepocinclis spirogyroides*
25. *Phacus longicauda*
26. *Euglena* sp.6

4.2 ดัชนีความหลากหลายของแชนนอน–เวียเนอร์ (Shannon– Wiener's Index)

จากการศึกษาความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืช จากจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2559 ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ พบว่าในเดือนมีนาคม สัปดาห์ที่ 2 บริเวณจุดเก็บตัวอย่างในชุดการทดลองควบคุมไม่มีแพลอยน้ำ (C) มีดัชนีความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชมากที่สุดเท่ากับ 2.895 ส่วนเดือนมีนาคม สัปดาห์ที่ 4 บริเวณจุดเก็บตัวอย่างน้ำในชุดการทดลองพืชกกลังกา (CY) พบว่ามีดัชนีความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชน้อยที่สุดเท่ากับ 1.497 (ตาราง 7) เนื่องจากแพลงก์ตอนพืชมีการกระจายตัวมากที่สุด แพลงก์ตอนพืชจึงมีจำนวนชนิดที่พบน้อย และการกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ ซึ่งดัชนีความหลากหลายของแชนนอน-เวียเนอร์ จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีจำนวนชนิดในสังคมเพิ่ม และมีความสม่ำเสมอในการกระจายตัวของแพลงก์ตอนแต่ละชนิด ซึ่งดัชนีความหลากหลายของแชนนอน-เวียเนอร์จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีจำนวนชนิดในสังคมเพิ่มขึ้นและมีความสม่ำเสมอในการกระจายของจำนวนตัวในแตละชนิดก็สามารถให้คา H′ สามารถมีคาไดสูงสุด และคา H′ มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อมีจำนวนชนิดในสังคมเพียงแคชนิดเดียว อยางไรก็ตามในทางปฏิบัติพบวาคา H′ มีคาไดไมเกิน 5 (Washington, 1984)

ตาราง 7 ดัชนีความหลากหลายของแชนนอน–เวียเนอร์ (Shannon–Wiener's Index) ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ

เดือน	จุดเก็บตัวอย่าง				
	IN	C	CF	CY	N
มกราคม 1	2.378	1.714	2.029	2.158	2.445
มกราคม 2	1.908	2.203	2.141	2.507	2.557
มกราคม 3	2.235	2.250	2.047	1.850	1.991
มกราคม 4	2.529	1.938	1.565	2.135	1.863
มกราคม 5	1.940	2.463	2.321	2.008	2.453
กุมภาพันธ์ 1	2.412	2.315	1.971	2.451	2.494
กุมภาพันธ์ 2	2.477	2.110	1.892	2.097	2.288
กุมภาพันธ์ 3	2.272	2.296	1.960	2.537	2.047
กุมภาพันธ์ 4	1.920	2.278	1.593	2.408	2.063
มีนาคม 1	2.255	2.538	2.412	1.914	2.200
มีนาคม 2	2.216	2.895**	1.915	2.166	1.813
มีนาคม 3	1.877	2.194	2.284	1.878	2.803
มีนาคม 4	1.625	1.670	1.760	1.497*	1.981
ค่าเฉลี่ย	2.32	2.39	2.14	2.29	2.40

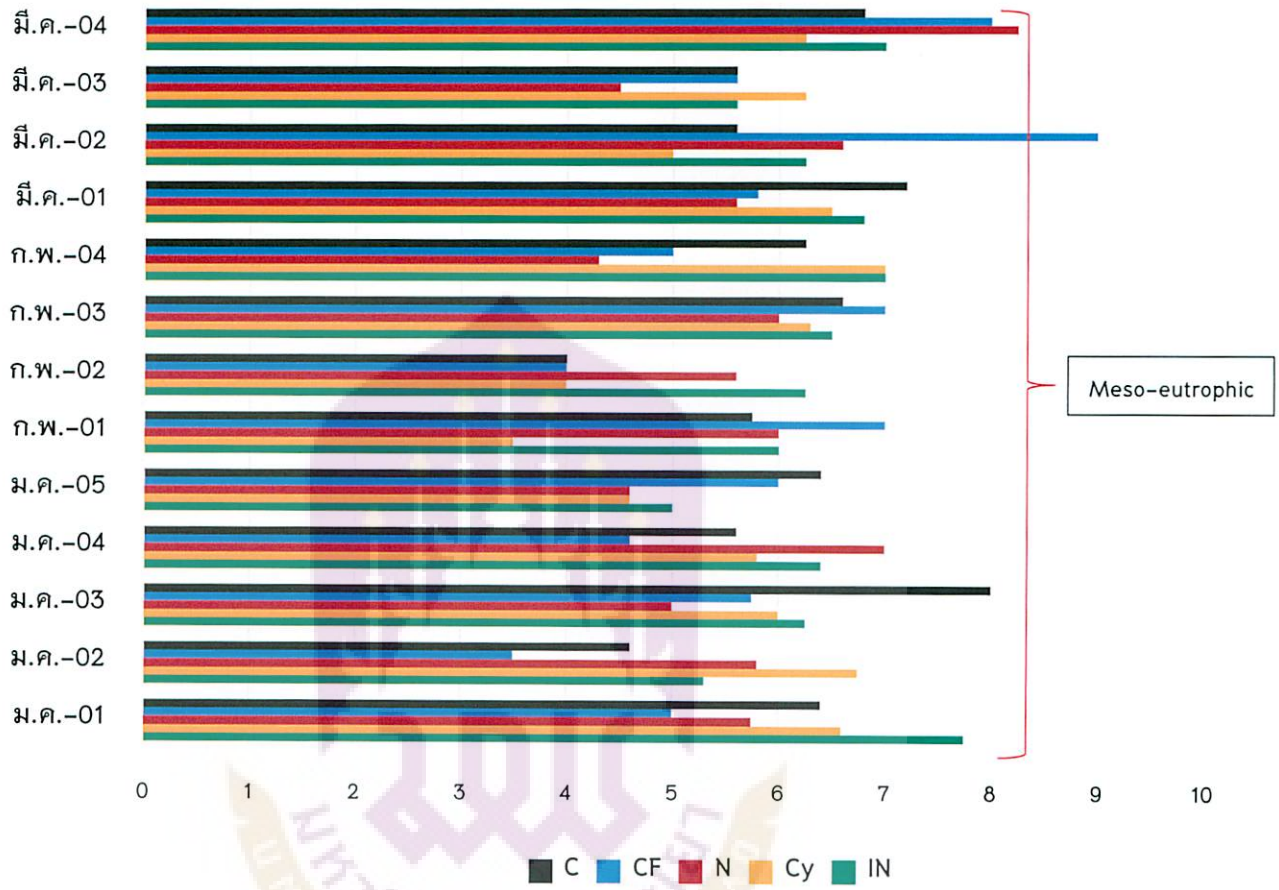
4.3 การประเมินคุณภาพน้ำในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำโดยแพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นด้วยวิธี AARL-PP Score

จากการประเมินคุณภาพน้ำในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยโดยใช้แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นที่พบ โดยวิธี AARL-PP Score ในเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2559 พบแพลงก์ตอนชนิดเด่นในแต่ละเดือน ดังนี้ เดือนมกราคมในการเก็บตัวอย่างครั้งที่1 แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นพบมากที่สุดคือ *Cyclotella* sp. *Phacus orbicularis Euglena* sp.2 *Coelastrum astroideum Gomphonema* sp.1 *Scenedesmus* sp.1 และ*Gomphonema gracile* เดือนมกราคมในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นพบมากที่สุด คือ *Coelastrum verrucosum Coelastrum microsporum Cyclotella* sp. *Pseudanabaena* sp.1 *Scenedesmus* sp.1 *Euglena* sp.1, *Melosira varians Navicula viridula* เดือนมกรกคมในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นพบมากที่สุด คือ *Scenedesmus* sp.1 *Coelastrum microsporum Cyclotella* sp. *Scenedesmus* sp.3 *Euglena* sp.2 *Melosira varians Pseudanabaena* sp.1 *Cocconeis placentura Nitzschia* sp.1 เดือนมกราคมในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 4 แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นที่พบมากที่สุด คือ *Micractinium quadrisetum Kirchneriella lunaris Monoraphidium contortum Pseudanabaena* sp.1 *Chlorella* sp.1 *Cyclotella* sp. *Nitzschia* sp.1 *Gomphonema* sp.2 *Melosira varians, Eugena* sp.2 *Coelastrum microsporum Melosira varians Scenedesmus* Sp.1 *Cocconeis placentura* เดือนมกราคมในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 5 แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นที่พบมากที่สุด คือ *Cyclotella* sp. *Chlorella* sp.1 *Coelastrum microsporum Chroococcus* sp.1 *Melosira varians Eunotia* sp.1 *Gomphonema* sp.1 *Micractinium quadrisetum Euglena* sp.2 *Gomphonema* sp.3 *Nitzschia* sp.3 *Eunotia* sp.2 เดือนกุมภาพันธ์ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นที่พบมากที่สุด คือ *Micractinium quadrisetum Scenedesmus* sp.1 *Cyclotella* sp. *Monoraphidium tortile Melosira varians Gomphonema* sp.3 *Euglena* sp.2 Chlorella sp.1 เดือนกุมภาพันธ์ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นที่พบมากที่สุด คือ *Scenedesmus acumiantus Scenedesmus* sp.1 *Cyclotella* sp. *Coelastrum microsporum Melosira varians Kirchneriella lunaris Euglena* sp.3 *Cocconeis placentura* เดือนกุมภาพันธ์ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นที่พบมากที่สุด คือ *Pseudanabaena* sp.1 *Cyclotella* sp. *Euglena* sp.2 *Gomphonema* sp.3 *Nitzschia* sp.3 *Chlorella* sp.1 เดือนกุมภาพันธ์ในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 4 แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นที่พบมากที่สุด คือ *Cyclotella* sp. *Scenedesmus* sp.1 *Euglena* sp.2 *Scenedesmus* sp.3 *Cocconeis placentura Melosira varians Scenedesmus acumiantus* เดือนมีนาคมในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นที่พบมากที่สุด คือ *Scenedesmus acumiantus Cyclotella* sp. *Merismopedia*

punctate Scenedesmus sp.1 *Pediastrum duplex Chlorella* sp.1 *Euglena* sp.2 *Melosira varians Euglena* sp.7 *Eunotia* sp.1 *Chroococcus* sp.1 *Nitzschia* sp.3 *Cocconeis placentura Scenedesmus* sp.8 เดือนมีนาคมในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นที่พบมากที่สุด คือ *Scenedesmus* sp.1 *Cyclotella* sp. *Scenedesmus acumiantus Pediastrum duplex Euglena* sp.2 *Volvox* sp.1 *Cocconeis placentura Chroococcus* sp.1 เดือนมีนาคมในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นที่พบมากที่สุด คือ *Cyclotella* sp. *Scenedesmus* sp.1 *Pediastrum duplex Scenedesmus* sp.8 เดือนมีนาคมในการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 4 แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นที่พบมากที่สุด คือ *Scenedesmus sp.5 Cyclotella sp. Pediastrum duplex Scenedesmus sp.7 Euglena* sp.2 *Scenedesmus* sp.8 *Scenedesmus* sp.1 *Scenedesmus acumiantus Nitzschia sp.1 Volvox* sp.1

เมื่อประเมินคุณภาพน้ำโดยใช้แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นที่พบ โดยวิธี AARL-PP Score พบว่า คุณภาพน้ำในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 อยู่ในระดับ 5.6-7.5 คะแนน คุณภาพอยู่ในระดับ Meso-eutrophic สารอาหารปานกลางถึงสูง และคุณภาพน้ำทั่วไปจัดอยู่ในกลุ่มคุณภาพน้ำดี ปานกลางถึงไม่ดี (ตาราง 8)

คุณภาพในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำจากการประเมินโดยแพลงก์ตอนพืชชนิดเด่น (ภาพ 12)



ภาพ 12 แสดงผลการประเมินคุณภาพในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำโดยแพลงก์ตอนพืชชนิดเด่น ด้วยวิธี AARL-PP Score

ตาราง 8 แสดงระดับคุณภาพน้ำของเดือนมกราคม ถึงเดือนมีนาคมในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำโดยแพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นด้วยวิธี AARL-PP Score

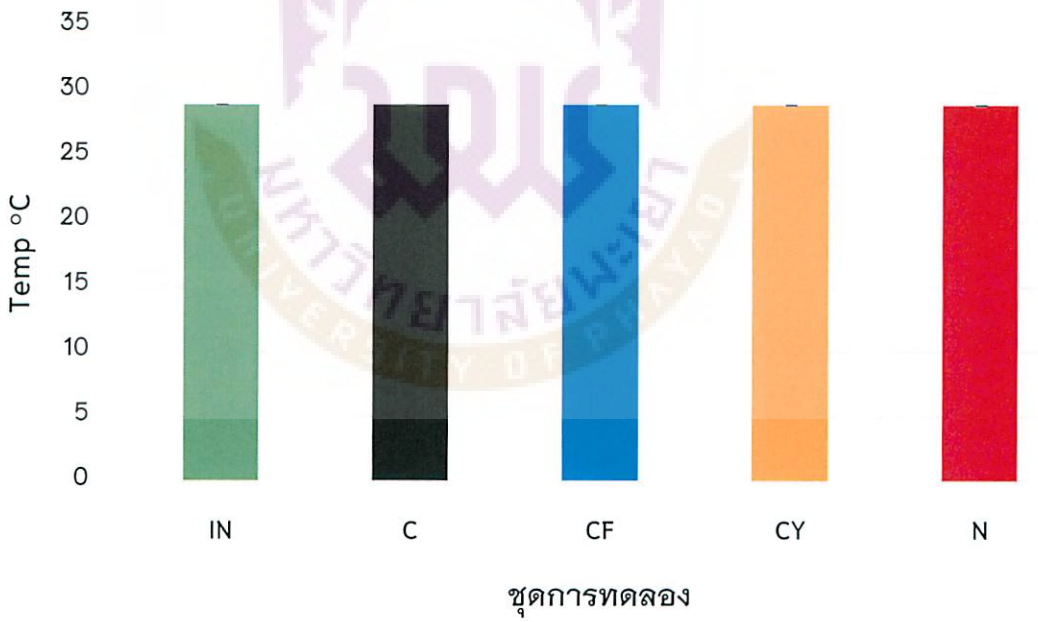
จุดเก็บตัวอย่าง	การประเมินคุณภาพในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำโดยแพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นด้วยวิธี AARL-PP Score													
	ม.ค.1	ม.ค.2	ม.ค.3	ม.ค.4	ม.ค.5	ก.พ.1	ก.พ.2	ก.พ.3	ก.พ.4	มี.ค.1	มี.ค.2	มี.ค.3	มี.ค.4	ตลอดการศึกษา
IN	▲	■	●	●	■	●	●	●	●	●	●	●	●	■ - ●
CY	●	●	●	●	■	●	■	●	●	●	■	●	●	● - ●
N	●	●	■	●	■	●	●	●	■	●	●	■	▲	■ - ●
CF	■	●	●	■	●	●	■	●	■	●	▲	●	▲	● - ●
C	●	■	●	●	●	●	■	●	●	●	●	●	●	■ - ●

ระดับคุณภาพน้ำ:
- ■ ระดับ Oligotrophic สารอาหารน้อย
- ● ระดับ Oligo- mesotrophic สารอาหารน้อยถึงปานกลาง
- ■ ระดับ Mesotrophic สารอาหารปานกลาง
- ● ระดับ Meso – eutrophic สารอาหารปานกลางถึงสูง
- ▲ ระดับ Eutrophic สารอาหารสูง
- ▲ ระดับ Hypeyeutrophic

4.4 คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ

4.4.1 อุณหภูมิ

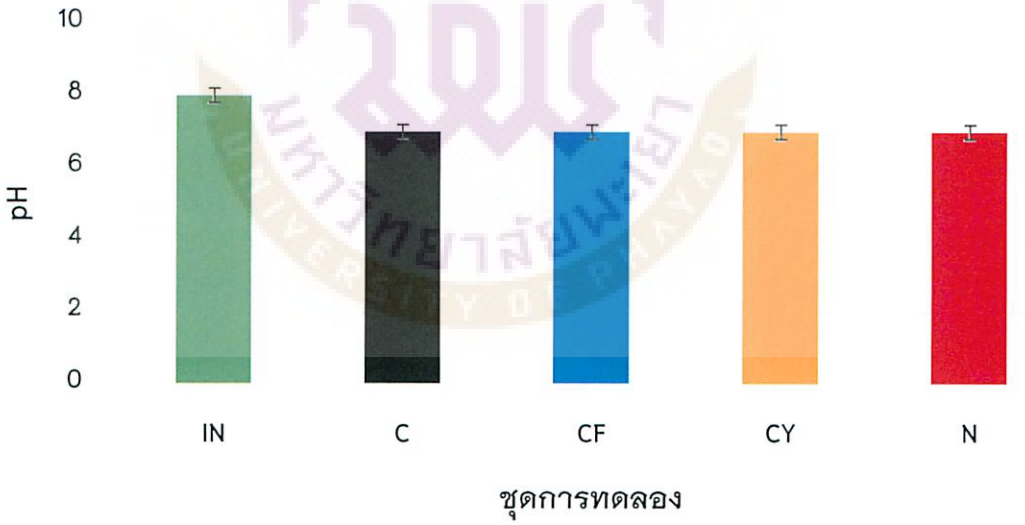
อุณหภูมิน้ำ ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม พบว่า มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 28.96 องศาเซลเซียส ในชุดการทดลองพืชกกลังกา และมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 29.75 องศาเซลเซียส ในน้ำเสียก่อนเข้าระบบ โดยเฉลี่ยแล้วอุณหภูมิของน้ำทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน ซึ่งอุณหภูมิน้ำจะแปรผันตามของการเปลี่ยนแปลง ช่วงฤดู ความเข้มแสง กระแสลม อุณหภูมิอากาศ จะเห็นว่าในเดือนมีนาคมอุณหภูมิจะสูงสุด ซึ่งเป็นฤดูร้อน และในเดือนมกราคมอุณหภูมิจะต่ำ ซึ่งอุณหภูมิของอากาศลดลงอย่างมาก และยังเป็นช่วงฤดูหนาว เนื่องจากมีการถ่ายเทพลังงานให้กับน้ำ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในช่วงกลางวัน มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชน้ำ และแพลงก์ตอนพืช ถ้าหากมีการสังเคราะห์ด้วยแสงของแพลงก์ตอนพืชมาก จะทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำสูง (ปรัชญา, 2539) (ภาพ 13) ในการทดสอบทางสถิติโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทุกชุดการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ภาคผนวก ค)



ภาพ 13 ค่าอุณหภูมิของน้ำ เฉลี่ยตั้งแต่เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ.2559 ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำแต่ละชุดการทดลอง

4.4.2 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ความเป็นกรด-ด่าง ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม พบว่า มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 6.71 ในชุดการทดลองพืชกกลังกา และมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 7.75 ในน้ำเสียก่อนเข้าระบบ โดยเฉลี่ยแล้วค่าความเป็นกรด-ด่าง ทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลามีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาโดยในตอนกลางวันพืช และแพลงก์ตอนพืชบางชนิดใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์ด้วยแสง ทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในแหล่งน้ำต่ำลง ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของแหล่งน้ำจะสูงขึ้น แต่ในช่วงกลางคืนจะมีการหายใจของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ และไม่เกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ทำให้มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้นเมื่อคาร์บอนไดออกไซด์รวมกับน้ำจะทำให้เกิดกรดคาร์บอนิคค่าความเป็นกรด-ด่าง จึงต่ำลง และค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อยู่ในช่วง 6.5-8.5 ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ (สันธิวัฒน์ พิทักษ์พล, 2556) (ภาพ 14) ในการทดสอบทางสถิติโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำเสียก่อนเข้าระบบ และทุกชุดการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ภาคผนวก ค)



ภาพ 14 ค่าความเป็นกรด-ด่าง เฉลี่ยตั้งแต่เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำแต่ละชุดการทดลอง

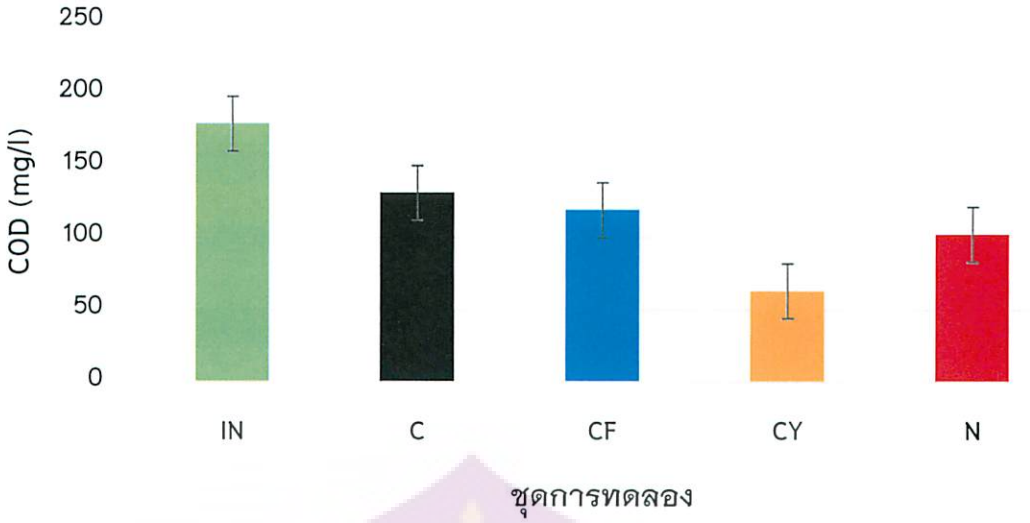
4.4.3 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO)

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม พบว่ามีค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 4.92 mg/l ในชุดการทดลองไอริส และมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 5.8 mg/l ในชุดการทดลองพืชกกลังกา เนื่องจาก น้ำเสียมีความเข้มข้นของสารอาหารแตกต่างกัน เมื่อผ่านการบำบัดทุกชุดการทดลองค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะสูงขึ้น หรือ ไม่แตกต่างกัน ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าเฉลี่ย 4.92-5.78 mg/l ซึ่งมีปัจจัยสิ่งแวดล้อมมาเกี่ยวข้อง เช่น ฤดู ลม และการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช และแพลงก์ตอนพืช(มนต์ชัย จันทร์ศิริ, 2548) ซึ่งแหล่งน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ และแพลงก์ตอนพืชจะมีค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ไม่ต่ำกว่า 5 mg/l และไม่น้อยกว่า 3 mg/l ถ้าต่ำกว่า mg/l จะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และแพลงก์ตอนพืช (สันธิวัฒน์ พิทักษ์พล, 2556) (ภาพ 15) ในการทดสอบทางสถิติโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของชุดการทดลองพืชไอริส และชุดการทดลองพืชกกลังกาที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ภาคผนวก ค)

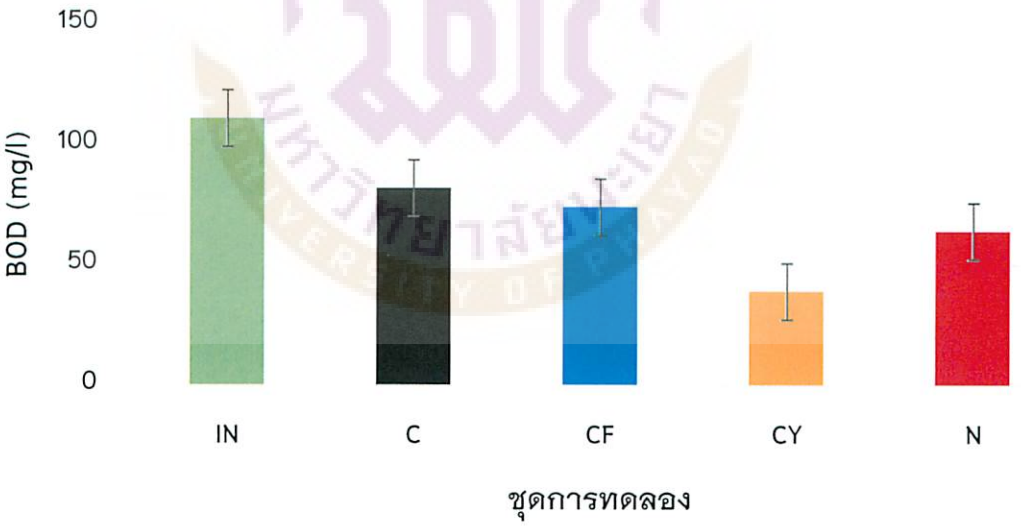
ภาพ 15 ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เฉลี่ยตั้งแต่เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ.2559 ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำแต่ละชุดการทดลอง

4.4.4 ปริมาณสารอินทรีย์

น้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดมีค่า BOD เฉลี่ย 124.93 mg/l เมื่อผ่านการบำบัดสามารถลดค่า BOD ได้สูงสุดในชุดการทดลองพืชกกลังกา มีค่าเฉลี่ย 43.92 mg/l ซึ่งแปรผันตามค่า COD คือ น้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดมีค่า COD เฉลี่ย 179.46 mg/l เมื่อผ่านการบำบัดสามารถลดค่า COD ได้สูงสุดในชุดการทดลองพืชกกลังกา มีค่าเฉลี่ย 62.69 mg/l เมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ เนื่องจาก ต้นกกลังกาเป็นพืชที่สามารถปรับตัวได้ดีในสภาพภูมิอากาศ ทนต่อน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง ระบบรากพืชที่อยู่ใต้น้ำของต้นกกลังกาทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้จุลินทรีย์ แพลงก์ตอนพืชยึดเกาะเพื่อการเจริญเติบโต และกรองตะกอนขนาดใหญ่ ดูดซับธาตุอาหารต่างๆที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสีย แลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนจากบรรยากาศสู่รากพืชจากการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อให้จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสารอินทรีย์ (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2544)การลดลงของ COD ในระบบคล้ายกับการลดลงของ BOD เมื่อมีสารอินทรีย์สูงเข้ามาในระบบบำบัดจากนั้น ระบบรากพืชจะทำการกรองสารอินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ให้เล็กลงก่อนจะย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ต่อไป (ลลินี, 2011) (ภาพ 16) (ภาพ 17) ในการทดสอบทางสถิติโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำเสียก่อนเข้าระบบ และชุดการทดลองพืชกกลังกาที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ภาคผนวก ค)



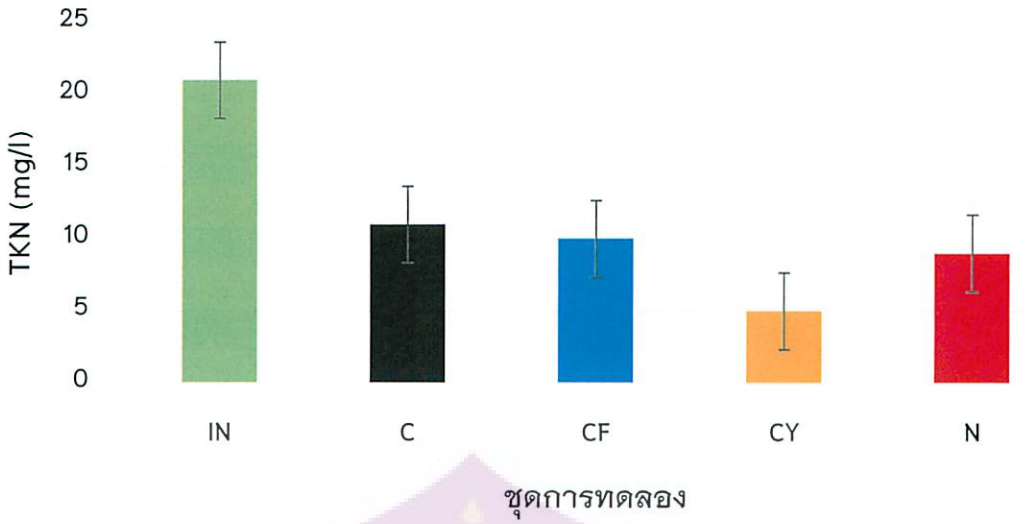
ภาพ 16 ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องใช้ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ เฉลี่ยตั้งแต่เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ.2559 ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำแต่ละชุดการทดลอง



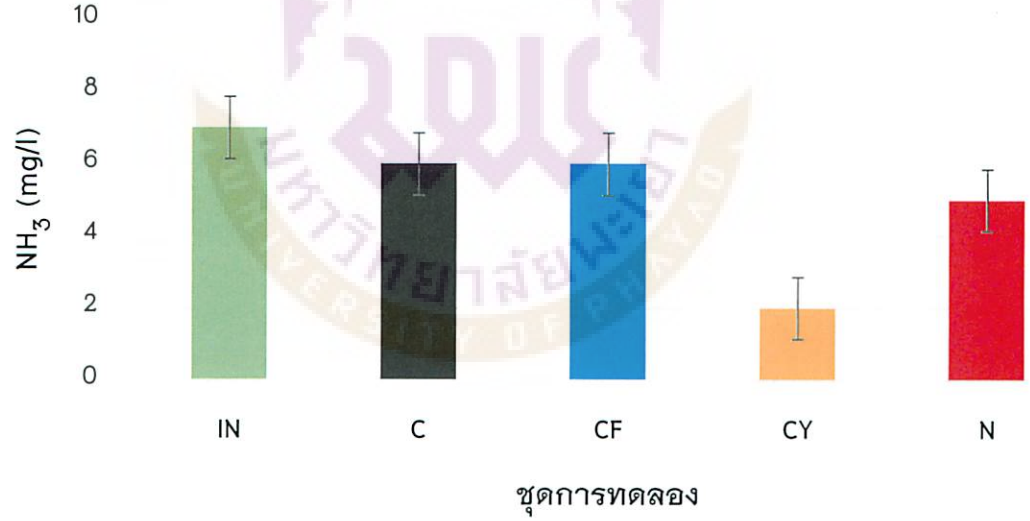
ภาพ 17 ค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ เฉลี่ยตั้งแต่เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ.2559 ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำแต่ละชุดการทดลอง

4.4.5 ปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์

น้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดมีค่า NH_3 เฉลี่ย 7.3 mg/l เมื่อผ่านการบำบัดสามารถลดค่า NH_3 ได้สูงสุดในชุดการทดลองพืชกกลังกา มีค่าเฉลี่ย 2 mg/l ซึ่งแปรผันตามค่า TKN น้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดมีค่า TKN เฉลี่ย 21.2 mg/l เมื่อผ่านการบำบัดสามารถลดค่า TKN ได้สูงสุดในชุดการทดลองพืชกกลังกา มีค่าเฉลี่ย 5 mg/l เมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ เนื่องจาก ต้นกกลังกาเป็นพืชที่สามารถปรับตัวได้ดีในสภาพภูมิอากาศ ทนต่อน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง ต้นกกลังกาสามารถดูดซับอินทรีย์ไนโตรเจนเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโต ผ่านรากพืช และมีจุลินทรีย์ช่วยในการย่อยสลายไนโตรเจนในรูปของสารอินทรีย์โดยปฏิกิริยาแอมโมเนียฟิเคชัน ไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งจะเกิดต่อเนื่องกัน โดยเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียไนโตรเจนไอออนในรูปของสารอนินทรีย์จากปฏิกิริยาแอมโมเนียฟิเคชัน จากนั้นจะเกิดกระบวนการออกซิเดชันโดยไนตริไฟอิงแบคทีเรีย จะถูกออกซิไดซ์เปลี่ยนเป็นไนไตรท์ และไนเตรทในสภาวะที่ใช้ออกซิเจนของแบคทีเรีย และจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนไนตรัสออกไซด์ หรือ ไนตริกออกไซด์ จากดีไนตริฟิเคชันของแบคทีเรีย (Vymazal, 1998) (ภาพ 18) (ภาพ 19) ในการทดสอบทางสถิติโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำเสียก่อนเข้าระบบ และชุดการทดลองพืชกกลังกาที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ภาคผนวก ค)



ภาพ 18 ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจน เฉลี่ยตั้งแต่เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ.2559 ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำแต่ละชุดการทดลอง



ภาพ 19 ปริมาณแอมโมเนีย เฉลี่ยตั้งแต่เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ.2559 ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำแต่ละชุดการทดลอง

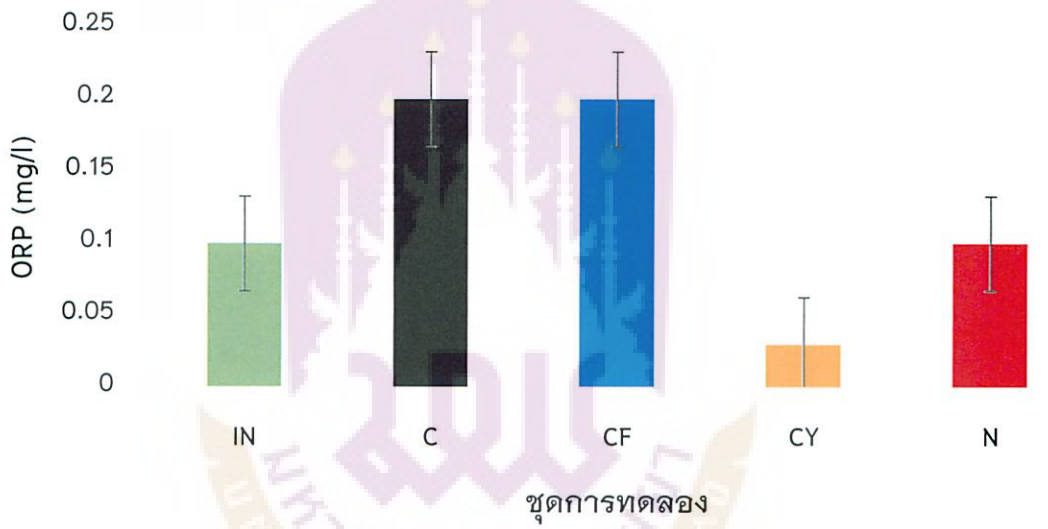
4.4.6 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ (SS)

น้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดมีค่า SS เฉลี่ย 224.15 mg/l เมื่อผ่านการบำบัดสามารถลดค่า SS ได้สูงสุดในชุดการทดลองพืชกกลังกา มีค่าเฉลี่ย 21.69 mg/l เมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ เนื่องจากรากพืชที่ยาวของต้นกกลังกาช่วยในการตกตะกอน การกรอง การดูดซับ และการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ในการกำจัดของแข็งแขวนลอย หรือ สารอินทรีย์ (U.S EPA, 1988) (ภาพ 20) ในการทดสอบทางสถิติโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำเสียก่อนเข้าระบบ และชุดการทดลองพืชกกลังกาที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ภาคผนวก ค)

ภาพ 20 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำ เฉลี่ยตั้งแต่เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ.2559 ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำแต่ละชุดการทดลอง

4.4.7 ปริมาณออโธฟอสเฟส (ORP)

น้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดมีค่าเฉลี่ย ORP 0.12 mg/l เมื่อผ่านการบำบัดสามารถลดค่า ORP ได้สูงสุดในชุดการทดลองพืชกกลังกา มีค่าเฉลี่ย 0.03 mg/l เมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ เนื่องจากระบบรากที่ยาวของต้นกกลังกา มีพื้นผิวในการกรอง การดูดซับและจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเพิ่มจำนวนเซลล์ การแพร่พันธุ์ เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต (สันธิวัฒน์ พิทักษ์พล, 2556) (ภาพ 21) ในการทดสอบทางสถิติโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำเสียก่อนเข้าระบบ และชุดการทดลองพืชกกลังกาที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ภาคผนวก ค)



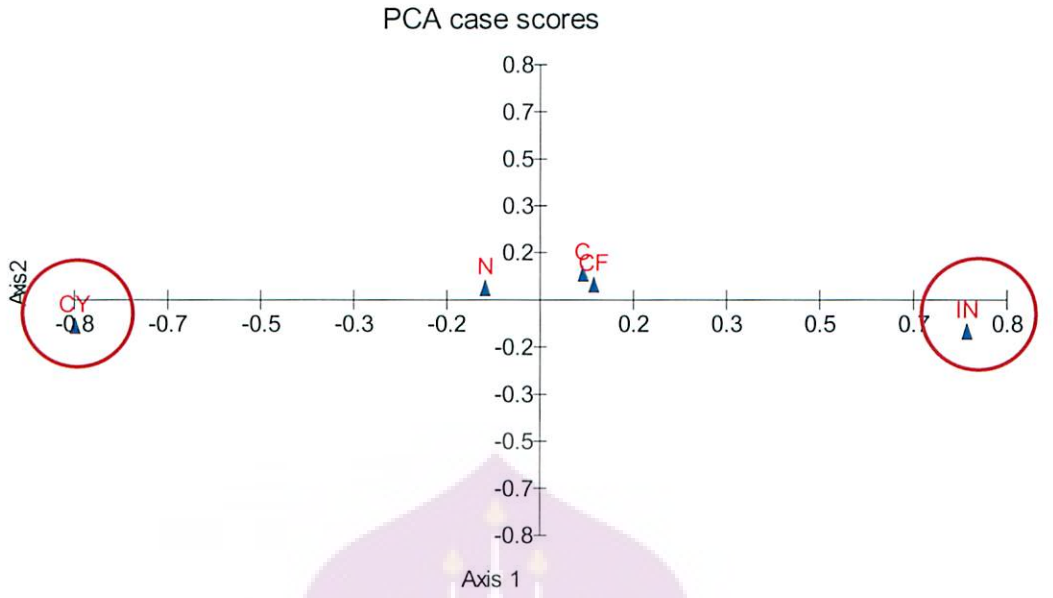
ภาพ 21 ปริมาณออโธฟอสเฟส เฉลี่ยตั้งแต่เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำแต่ละชุดการทดลอง

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ Principal Component Analysis (PCA) ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ

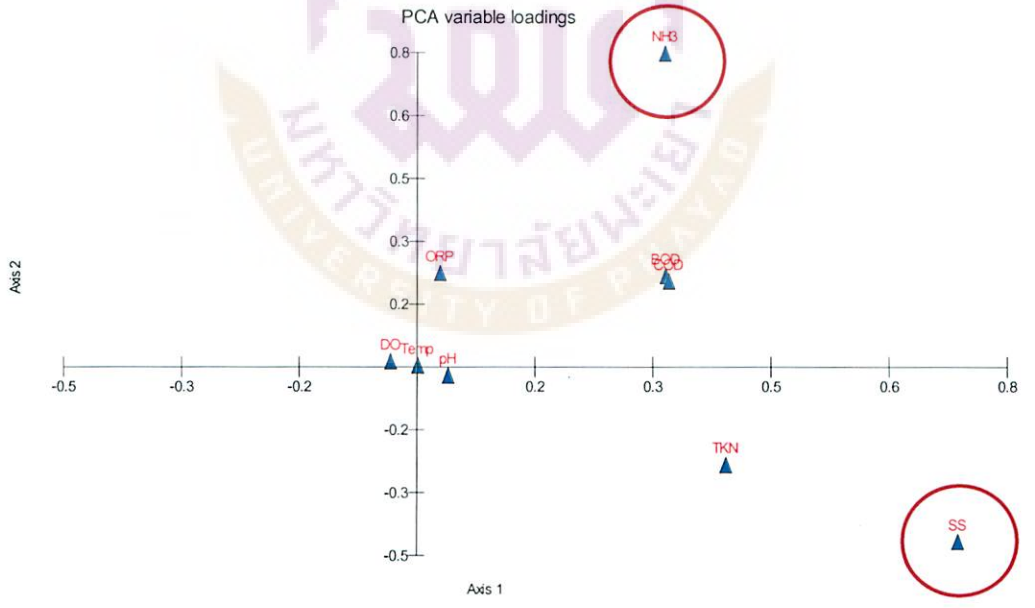
จากการการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ Principal Component Analysis (PCA) เพื่อหาความแตกต่างในแต่ละชุดการทดลองที่ทำการศึกษาโดยใช้ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ศึกษาทางกายภาพและเคมี พบว่าในแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะชุดการทดลองพืชกกลังกา (CY) ชุดการทดลองน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (IN) (ภาพ 22) ที่มีความแตกต่างกันอย่างมาก

ความแตกต่างระหว่างคุณภาพน้ำบางประการของแต่ละชุดการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าปริมาณแอมโมเนีย (NH_3) และค่าของแข็งแขวนลอย (SS) มีความแตกต่างอย่างมากกับคุณภาพน้ำบางประการอื่นๆ (ภาพ 23)

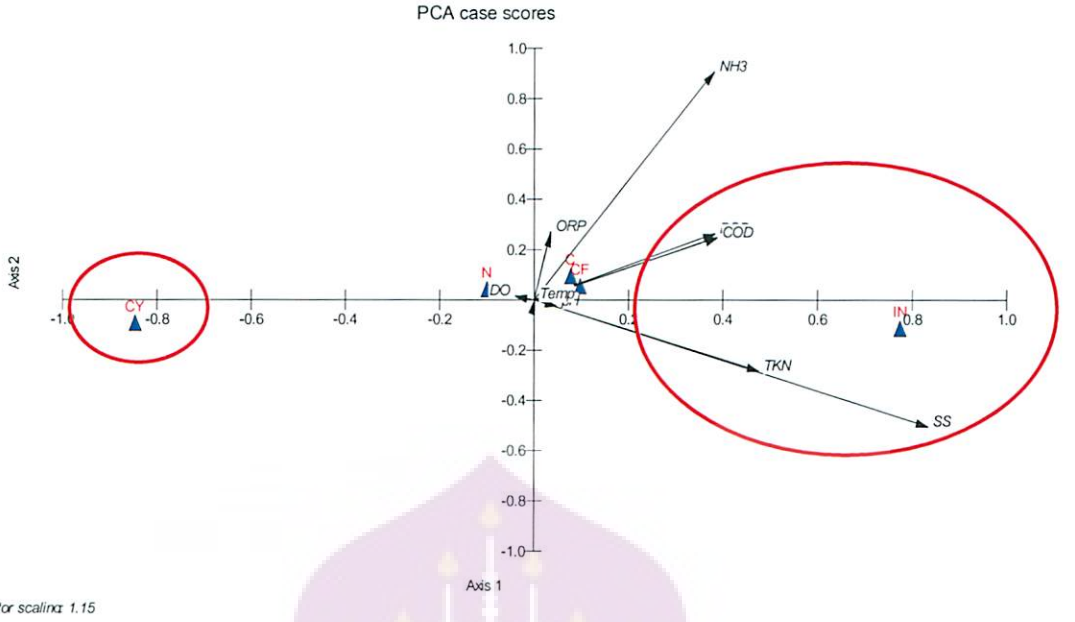
ความแตกต่างระหว่างคุณภาพน้ำบางประการกับชุดการทดลองสามารถบ่งบอกได้ว่าค่า COD, BOD, TKN, SS มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำเสียก่อนเข้าระบบ และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับชุดการทดลองพืชกกลงกา (CY) (ภาพ 24) ซึ่งค่าที่กล่าวมาเป็นตัวบ่งบอกสภาพของน้ำถ้ามีมากจะมีสภาพเป็นด่าง และมีกลิ่นค่อนข้างเหม็น (เหม็นเปรี้ยวเหมือนแอมโมเนีย) พบว่าผลการตรวจวิเคราะห์ค่าไนโตรเจน ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน ของบ่อทดลองที่มีพืช มีค่าเฉลี่ยปริมาณ ไนโตรเจน เท่ากับ 0.26 มิลลิกรัมต่อลิตร และบ่อควบคุมที่ไม่มีพืช มีค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจน เท่ากับ 0.83 มิลลิกรัม ต่อลิตร และประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจน ที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ 9 วัน พบว่า บ่อทดลองที่มีพืช มี ประสิทธิภาพการบำบัด ร้อยละ 71.13 และบ่อควบคุมที่ไม่มีพืช มีประสิทธิภาพการบำบัด ร้อยละ 11.13 (ฉัตรชัย ยาทะเล,2554)



ภาพ 22 ความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองโดยใช้วิธี PCA



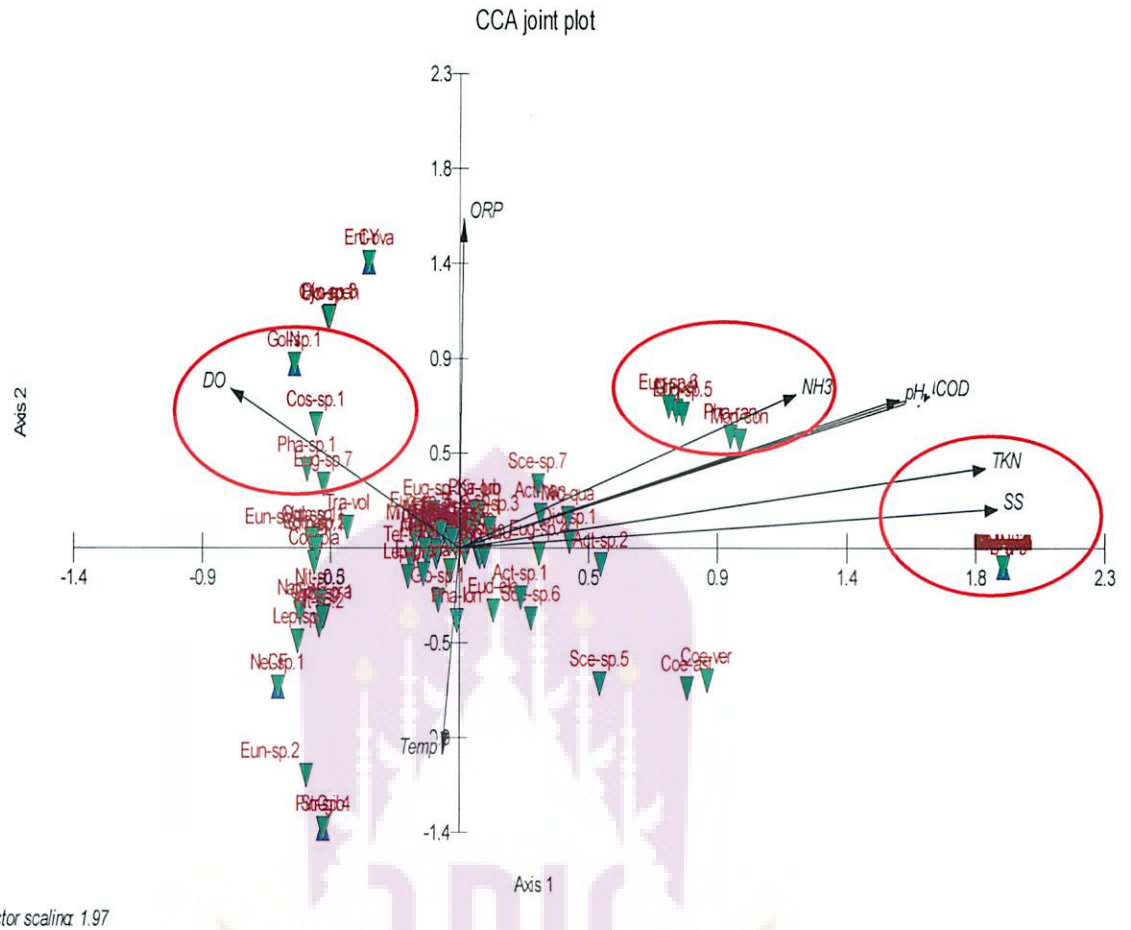
ภาพ 23 ความแตกต่างระหว่างคุณภาพน้ำบางประการของแต่ละชุดการทดลอง โดยใช้วิธี PCA



ภาพ 24 ความแตกต่างระหว่างคุณภาพน้ำบางประการกับชุดการทดลองโดยใช้วิธี PCA

4.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ Canonical Correspondence Analysis (CCA) ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ Canonical Correspondence Analysis (CCA) เพื่อหาความสัมพันธ์ของแพลงก์ตอนพืชกับคุณภาพน้ำบางประการ สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือกลุ่ม *Euglena* sp.5, *Euglena* sp.6, *Nitzchia palea Monoraphidium contortum* และ *phacus ranula* มีแนวโน้มสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า NH_3 กลุ่ม *Euglena* sp.7 *phacus* sp.1 *phacus* sp.2 *Golenkinia* sp.1 และ *Cosmarium* sp.1 มีแนวโน้มสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า DO และกลุ่ม *Closteriopsis* sp.2 มีแนวโน้มสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า TKN, SS (ภาพ 25) เนื่องจากแพลงก์ตอนพืชมีความสัมพันธ์กับปัจจัยทางกายภาพและเคมี ซึ่งมีผลต่อชนิดแพลงก์ตอนพืชในการเจริญเติบโต เช่น ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ (ธีรศักดิ์, 2541) (Chapamn and Chapman, 1973) นอกจากนี้ปัจจัยทางกายภาพ และเคมีของแหล่งน้ำ เป็นสิ่งสำคัญในการพิจารณาคุณภาพน้ำ และยังสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำหรือใช้ในการตัดสินใจที่จะนำไปใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม รวมทั้งควบคุมคุณภาพมาตรฐานในการบำบัดน้ำเสีย (ทัศนีย์,2554)



Vector scaling: 1.97

ภาพ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำบางประการกับชนิดแพลงก์ตอนพืช โดยใช้วิธี CCA

ตาราง 9 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำบางประการในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ

	COD	BOD	DO	pH	Temp	ORP	TKN	NH3	SS
COD Pearson Correlation	1	-.614*	-.214	.582**	.091	.255	.782**	.895**	.515**
BOD Pearson Correlation		1	.560*	-.431	.063	.042	-.869**	-.712**	-.700**
DO Pearson Correlation			1	-.105	.201	.249	-.183	-.349	-.089
pH Pearson Correlation				1	.191	.660**	.662**	.561**	.483*
Temp Pearson Correlation					1	.219	-.119	-.064	.101
ORP Pearson Correlation						1	.322	.254	.236
TKN Pearson Correlation							1	.782**	.815**
NH3 Pearson Correlation								1	.527**
SS Pearson Correlation									1

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed). **. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 สรุปผลการศึกษา

ในการศึกษาคุณภาพน้ำในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำโดยใช้แพลงก์ตอนพืชเป็นดัชนีชี้วัด เพื่อศึกษาความหลากหลายชนิดของแพลงก์ตอนพืชและคุณภาพน้ำทางชีวภาพ สรุปได้ว่าพบแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด 4 ดิวิชันในทุกชุดการทดลอง โดยน้ำเสียก่อนเข้าระบบ พบ Division Chlorophyta มากที่สุดคือ 56% ชุดการทดลองควบคุมไม่มีแพ พบ Division Bacillariophyta มากที่สุดคือ 49% ชุดการทดลองควบคุมมีแพ พบ Division Bacillariophyta มากที่สุดคือ 41% ชุดการทดลองพืชกกลังกา พบ Division Chlorophyta มากที่สุดคือ 44% และชุดการทดลองพืชไอริส พบ Division Bacillariophyta มากที่สุดคือ 37%

เมื่อผ่านการบำบัดน้ำเสีย พบว่าชุดการทดลองพืชกกลังกามีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียได้ดีที่สุดซึ่งทำให้ค่า BOD, COD, SS, TKN ลดลงอย่างมาก และมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย ดังนี้ BOD 64.9%, COD 64.8%, SS 90.2%, TKN 76.2% ดังนั้นต้นกกลังกามีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลาดีที่สุด

เมื่อวิเคราะห์ในดัชนีความหลากหลายของแชนนอน-เวียเนอร์ สรุปได้ว่าในเดือนมีนาคม สัปดาห์ที่ 2 บริเวณจุดเก็บตัวอย่างในชุดการทดลองควบคุมไม่มีแพลอยน้ำ (C) มีดัชนีความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชมากที่สุดเท่ากับ 2.895

เมื่อประเมินคุณภาพน้ำโดยใช้แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นที่พบ โดยวิธี AARL-PP Score สรุปได้ว่า คุณภาพน้ำในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2559 เฉลี่ยอยู่ในระดับ 5.6-7.5 คะแนน คุณภาพอยู่ในระดับ Meso-eutrophic คือ สารอาหารปานกลางถึงสูง และคุณภาพน้ำทั่วไปจัดอยู่ในกลุ่มคุณภาพน้ำดีปานกลางถึงไม่ดี

โดยแพลงก์ตอนพืชจีนัส *Scenedesmus* และ*Cyclotella* เป็นจีนัสที่พบมากที่สุดในน้ำเสียก่อนเข้าระบบซึ่งสามารถบ่งบอกถึงสภาพน้ำในแหล่งน้ำนี้ได้ เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการป้องกันในการจัดการควบคุมคุณภาพน้ำเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างปลอดภัย และบ่งบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ รวมทั้งควบคุมคุณภาพมาตรฐานในการบำบัดน้ำเสียจึงเป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพที่เหมาะสม

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการเก็บเกี่ยวพืชออกจากระบบเพื่อไม่ให้พืชมีความหนาแน่นมากเกินไป และเป็นการกำจัดไนโตรเจนออกจากระบบอีกวิธีหนึ่ง

5.2.2 ควรทดลองกับพืชชนิดอื่น ในการบำบัดน้ำเสีย โดยควรเป็นพืชที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ

5.2.3 ควรศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในแหล่งอื่นๆ ที่สำคัญต่อการใช้ประโยชน์จากประชาชน

บรรณานุกรม

(กรมควบคุมมลพิษ, 2553). **คู่มือวิธีปฏิบัติสำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำ**. สืบค้นเมื่อ 3 พฤษภาคม 2558 จาก http://www.pcd.go.th/public/Publications/print_water.cfm?task=Water_CollNat_Manual

(ขนิษฐา ชูเทียน, 2552). **ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชและการประเมินคุณภาพน้ำในกว๊านพะเยา ปี 2551**. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง วท.บ., มหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา

(คณิน ศรีรัตน์, จาริยา สุขศรี และจุฑาทิพย์ หงสกุล, 2555). **การศึกษาความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชและคุณภาพน้ำในสระมรกต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี**.การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง วทบ., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี

(เฉลิมชัย อยู่สำราญ, อรรถวุฒิ กันทะวงศ์ และสาโรจน์ เริ่มดำริห์ (ผู้บรรยาย) 30 มกราคม–2 กุมภาพันธ์ 2549). **ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำและแพลงก์ตอนพืชบริเวณอ่าวศรีราชา จังหวัดชลบุรี**. ในเรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44 : สาขาประมง (หน้า 511–517). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(โฉมยง ไชยอุบล, 2541). **ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำกับการกระจายของแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ในอ่างเก็บน้ำอ่างแก้ว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปี 2540–2541**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

(ณัฐพล ชาวสวน, เบญจมาภรณ์ รุจิตร และวลีวรรณ แฉ่งประเสริฐ, 2553). **การศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายยึดเกาะพืชน้ำและความสัมพันธ์กับคุณภาพน้ำในพื้นที่พิพิธภัณฑ์บัว มหาวิทยาลัยราชมงคลธัญบุรี พ.ศ. 2552–2553**. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง วทบ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี

(ทวีศักดิ์ ขวัญไตรรงค์, 2548). **คุณภาพน้ำและความหลากหลายของสาหร่ายในทะเลสาบดอยเต่าจังหวัดเชียงใหม่**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

บรรณานุกรม (ต่อ)

(ทัศนีย์ โนจิตร, 2554). **ความสัมพันธ์ระหว่างแพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ และคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำชั่วคราวขนาดเล็กของมหาวิทยาลัยพะเยา** ในปี พ.ศ. 2553 -2554. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง วท.บ., มหาวิทยาลัยนเรศวร , พะเยา

(ธงชัย แก้ววิเชียร, 2552). **ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชและการประเมินคุณภาพน้ำในพื้นที่โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช อันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯสยามบรมราชกุมารี ในแหล่งน้ำของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา ปี 2540-2551**. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง วท.บ., มหาวิทยาลัยพะเยา

(ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิ์ศักดิ์, 2540). **คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย**.พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์เรือนแก้วการพิมพ์.

(ธนิษฐา มาลัยวรรณ, 2553). **ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชและคุณภาพน้ำเขื่อนภูมิพลประเทศไทย และอ่างเก็บน้ำเขื่อนน้ำงึม ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

(ธิดารัตน์ ศรีสว่าง, 2554) **ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชและคุณภาพน้ำตามระดับความลึกของอ่างเก็บน้ำแม่ปืมจังหวัดพะเยา ปี 2553 – 2554**. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง วท.บ.,มหาวิทยาลัยนเรศวร, พะเยา.

(นพรัตน์ ฤาชา, 2528). **การสำรวจแพลงตอนพืชในกว๊านพะเยา** . วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ผุสดี มุหะหมัด. (ม.ป.ป.). **ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total dissolved solid)**. สืบค้นเมื่อ 3 พฤษภาคม 2558, จาก https://www.gotoknow.org/posts/293577.

(พงศ์เชฏฐ์ พิชิตกุล และยนต์ มุสิก. (ผู้บรรยาย). (1 – 4 กุมภาพันธ์ 2548). **คุณภาพน้ำในกว๊านพะเยา**. ในเรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43:สาขาประมง สาขาการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม (หน้า 140-146). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(วิภาดา วงค์เรือนแก้ว และ ดร.โสมนัส สมประเสริฐ, 2559) **ได้ทำการศึกษาในการเพื่อเปรียบเทียบพืช 2 ชนิด ในการบำบัดเจลดาลห์ไนโตรเจน (TKN) ด้วยใช้ระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ** โดยทำการปลูกพืชกกลังกา (*Cyperus* spp.) และต้นไอริส (*Neomarica* spp.)

บรรณานุกรม (ต่อ)

(ภัทราวดี ชัยนันต๊ะ, 2554). **ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชและคุณภาพน้ำในบ่อบำบัดน้ำเสียแบบผึ่งของเทศบาลเมืองพะเยา ปี 2553 – 2554.** การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง วท.บ., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พะเยา.

(มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศน์, 2547). **เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มูลนิธิคุ้มครองสัตว์ป่าและพรรณพืชฯ ในพระบรมราชินูปถัมภ์. (ม.ป.ป). **หนองเล็งทราย.** สืบค้นเมื่อ 23 มีนาคม 2558, จาก http://www.maechai.ac.th/art/maechai.htm

(ยุวดี พีรพรพิศาล และ วันชัย สนธิไชย, 2541). **คุณภาพน้ำ การกระจายและผลผลิตเบื้องต้นของแพลงก์ตอนพืช ในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดมธารา เชียงใหม่.** ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่

(ยุวดี พีรพรพิศาล, 2546). **สาหร่ายวิทยา (Phycology).** พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

(ยุวดี พีรพรพิศาล, จีรพร เพกเกาะ ดวงกมล โพธิ์หวังประสิทธิ์, ธนพล ทนคำดี, อดินุช หงส์สิริชาติและทัตพร คุณประดิษฐ์, 2550). การประเมินคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำนิ่งโดยใช้แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นด้วย AARL – PP Score. **วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง,** 1(1), 71–81

(ยุวดี พีรพรพิศาล, 2556). **สาหร่ายน้ำจืดในประเทศไทย.** พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่: โชตนาพริ้นท์จำกัด

(รัฐภูมิ พรหมณะ, 2545). **การกระจายของสาหร่ายพิษและคุณภาพน้ำในกว๊านพะเยา จังหวัดพะเยา ในปี 2542–2543.** วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

(ลัดดา วงศ์รัตน์, 2542). **แพลงก์ตอนพืช.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

(ลัดดา วงศ์รัตน์ และโสภณา บุญญาภิวัตน์, 2546). **คู่มือวิธีการเก็บและวิเคราะห์แพลงก์ตอน.** (ม.ป.พ) กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บรรณานุกรม (ต่อ)

(วลีวรรณ แฉ่งประเสริฐ, 2558). **การติดตามคุณภาพน้ำแลความหลากหลายทางชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชในสระเก็บน้ำพระราม 9 จังหวัดปทุมธานีระหว่างปี พ.ศ. 2554-2555.** สืบค้นเมื่อ 23 ธันวาคม 2558, จาก http://www.research.rmutt.ac.th/wp-content/uploads/2015/03/Binder1.pdf.

(ศศิธร โครงสร้อย, 2555). **การติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในกว๊านพะเยาโดยใช้แพลงก์ตอนพืชเป็นดัชนีทางชีวภาพระหว่างเดือนกันยายน 2554 ถึง กุมภาพันธ์ 2555.** วท.บ., มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา.

(ศูนย์นิเวศวิทยาพยากรณ์และการจัดการ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, 2558). **แหล่งเรียนรู้เสมือนจริงนิเวศปะการัง.** สืบค้นเมื่อ 23 ธันวาคม 2558, จาก http://walailak.lsr.nectec.or.th/virtualsite/pages/teacherguide/book/coral_reef/unit2_coral_biodiversity_v1.pdf.

ศูนย์วิจัยประมงน้ำจืดพะเยา. (ม.ป.ป.). **ประวัติกว๊านพะเยา.** สืบค้นเมื่อ 3 พฤษภาคม 2558, จาก http://www.fisheries.go.th/if-phayao/web2/

(ศูนย์ศึกษาและวิจัยอุทยานแห่งชาติทางบก จังหวัดนครราชสีมา, 2558). **ดัชนีความหลากหลายของซิมป์สัน ดัชนีความหลากหลายของซิมป์สัน ซิมป์สัน (Simpson's Diversity Index,D).** สืบค้นเมื่อ 23 ธันวาคม 2558, จาก http://www.nprc-korat.com/image/mypic_customize/files/เนื้อหา%202.pdf.

(สุริยะ จันทร์แก้ว, สุมาลี เลี่ยมทอง, โสภนา วงศ์ทอง, มัณฑกา วีระพงษ์, ดำรงพันธ์ ใจห้าว วีระพงษ์, วิชิต จรุงสุจริตกุล และคณะ, 2557), **การศึกษาป่าสาดูและความหลากหลายทางชีวภาพใน แหล่งน้ำ** จังหวัดนครศรีธรรมราช. วารสารของมหาวิทยาลัยราชภัฏ พิบูลสงคราม, 15(2), 23-37

(อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, 2545). **คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.

(อุดมลักษณ์ คงสังข์, 2558). **ความชุกชุมของแพลงก์ตอนและปริมาณของโคลิฟอร์มแบคทีเรียในน้ำขุมเหมืองภูเก็ต**. สืบค้นเมื่อ 23 ธันวาคม 2558, จาก : http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2010/9121/1/375086.pdf.

บรรณานุกรม (ต่อ)

(จันทวัน เบ็ญจวรรณ์, 2555) (Bold, Wynne, 1978) (Palmer, 1969) (ณัฐพล ชาวสวน, เบญจมาภรณ์ รุจิตร และวลีวรรณ แฉ่งประเสริฐ 2553) **ความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืช**

(Kshirsagar, 2013) **คุณภาพน้ำโดยใช้สาหร่ายเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำในแม่น้ำมูล่าเมืองปูเน่ รัฐมหาราษฏระ** (อินเดีย) ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2007 ถึงเดือนกันยายน 2008

(Dhrubajyoti Baruah, 2014) **ทำการศึกษาโดยใช้แพลงก์ตอนพืชเพื่อประเมินคุณภาพน้ำในบ่อพิธีกรรมในรัฐอัสสัมตอนเหนือ**

(นพรัตน์ ฤาชา, 2528) **ได้ทำการศึกษาและสำรวจแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำกว๊านพะเยา**

(แสงอรุณ เนื่องสิทธิ จารึก นาชัยเพิ่ม, 2548) **ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำและแพลงก์ตอนในแม่น้ำชี**

(ลักษมณ ทองอินทร์, ดร.จินดาวัลย์ วิบูลย์อุทัย, ดร.สุรชัย อังคนาสายัณห์, 2554) **ได้ทำการศึกษาวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ถึงประสิทธิภาพของพืชธูปฤาษีและกกกลมในการบำบัดน้ำเสียของชุมชนโดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบไหลผ่านลำต้น**

(วาสนา อากรรัตน์, วุฒิชัย อ่อนเอี่ยม และลิขิต ชูชิต, 2555) **ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำกับแพลงก์ตอนพืชในบริเวณชายฝั่งอ่าวประจวบคีรีขันธ์**จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

(R.E.Lund 1975) **ทำการศึกษาปริมาณแอมโมเนียในน้ำ**

(มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2543) **ทำการศึกษาปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำในน้ำ ปริมาณไนโตรเจนในน้ำ และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำ**

(กระทรวงสาธารณสุข, 2537) **ค่ามาตรฐาน BOD**

(ฉัตรชัย ยาทะเล,2554) (ชัยพร ภู่ประเสริฐ, 2538 เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2542) (Hauser, 1996 AWWA, 1998 Mitsch และ Gosselink, 2000) **ได้ทำการศึกษาปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมดที่อยู่ในน้ำทิ้ง**

(กรมควบคุมมลพิษ) **ค่ามาตรฐานในน้ำเสีย**

(จักราพิชญ์ อัตโน, ประสงค์สม ปุณยอุปพัทธ์, 2541) **ได้ทำการศึกษาระบบบำบัดเพื่อเลียนแบบสภาพพื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติ**

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการ(ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ตาราง 10 อุณหภูมิน้ำ (Temp) (°C) ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ

จุดเก็บตัวอย่าง	มกราคม 1	มกราคม 2	มกราคม 3	มกราคม 4	มกราคม 5
IN	25±0	30.1±0.09	29±0	30±0	22±0
C	26±0.50	30.2±0.05	29±0.50	29±0	22±0
CF	25.6±0	30.2±0.05	28.2±0	29±0	23±0.50
CY	26.5±0.21	28.7±0.05	28±0	29±0	22±0.82
N	26.3±0.22	29.3±0.08	28.9±0.08	29±0.82	22±0
จุดเก็บตัวอย่าง	**กุมภาพันธ์ 1**	**กุมภาพันธ์ 2**	**กุมภาพันธ์ 3**	**กุมภาพันธ์ 4**	
IN	30±0	29.5±0.05	29±0	30±0	
C	30±0	32±0.50	31.1±0.05	29±0	
CF	30±0.50	32±0	30.2±0	29±0.50	
CY	30±0.82	32±0	30.2±0.21	29±0	
N	30±0	30.2±0.08	32±0	29±0	
จุดเก็บตัวอย่าง	**มีนาคม 1**	**มีนาคม 2**	**มีนาคม 3**	**มีนาคม 4**	
IN	31±0	29.6±0.05	31.2±0	31.1±0	
C	29±0	29±0	30.8±0.05	30.2±0.05	
CF	29±0.50	29±0	32±0	30.2±0	
CY	30±0	31.1±0.05	30.4±0.08	29.6±0.05	
N	31.2±0	30±0	32.5±0.05	29±0	

ข้อมูลคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการ(ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ตาราง 11 ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องใช้ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ (COD) (mg/l) ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ

จุดเก็บตัวอย่าง	มกราคม 1	มกราคม 2	มกราคม 3	มกราคม 4	มกราคม 5
IN	78±0	89±0	120±0	98±0	147±0
C	51±4	34±0	64±11	98±0	75±0
CF	35±4	34±0	49±4	86±3.5	75±0
CY	3±3.77	11±0	28±7.07	55±3.3	60±6.13
N	24±6.13	19±0	45±6.13	78±9.18	70±3.3
จุดเก็บตัวอย่าง	**กุมภาพันธ์ 1**	**กุมภาพันธ์ 2**	**กุมภาพันธ์ 3**	**กุมภาพันธ์ 4**	
IN	162±0	188±0	267±0	212±0	
C	105±0	83±3.5	220±0	139±0	
CF	102±3.5	75±4	212±0	132±0	
CY	50±7.07	36±12.68	115±9.63	34±0	
N	83±6.13	71±16.36	172±0	86±0	
จุดเก็บตัวอย่าง	**มีนาคม 1**	**มีนาคม 2**	**มีนาคม 3**	**มีนาคม 4**	
IN	226±0	71±0	408±0	267±0	
C	64±0	172±0	337±8	267±0	
CF	56±0	118±7.5	302±4	267±0	
CY	34±10.37	57±3.77	209±18.38	123±3.3	
N	44±7.07	76±3.3	285±7.54	267±0	

ข้อมูลคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการ(ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ตาราง 12 ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำ (DO) (mg/l) ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ

จุดเก็บตัวอย่าง	มกราคม 1	มกราคม 2	มกราคม 3	มกราคม 4	มกราคม 5
IN	5.56±0	5.56±0	4±0	5±0.82	5.13±0.08
C	6.1±0.19	6±0	6.4±0.05	5.6±0	4.5±0.05
CF	3.8±0.51	4.21±0.01	5±0	4±0	5.5±0
CY	6.25±0.54	5.52±0.08	5.24±0.10	5±0	6.9±0.08
N	4±0	4.21±0.01	5±0	4.3±0	4±0
จุดเก็บตัวอย่าง	**กุมภาพันธ์ 1**	**กุมภาพันธ์ 2**	**กุมภาพันธ์ 3**	**กุมภาพันธ์ 4**	
IN	4.8±0.08	5.6±0.05	5±0.82	5.5±0.08	
C	5±0	5.7±0.05	6±0	5±0.5	
CF	5.9±0.05	6±0.5	5±0.5	4±0	
CY	5±0	6.3±0	5±0	5.5±0.05	
N	5±0	6.5±0.05	4.2±0.45	5.65±0	
จุดเก็บตัวอย่าง	**มีนาคม 1**	**มีนาคม 2**	**มีนาคม 3**	**มีนาคม 4**	
IN	4.6±0.07	5.6±0.08	3.5±0	5.2±0	
C	5.6±0	6.8±0	6.4±0	6±0.5	
CF	5.51±0.03	6.7±0.05	6±0	5.5±0.05	
CY	5.2±0.08	5.8±0.05	5.7±0.08	5.1±0	
N	3.7±0.05	6.5±0	6.5±0	5.4±0.08	

ข้อมูลคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการ(ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ตาราง 13 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ

จุดเก็บตัวอย่าง	มกราคม 1	มกราคม 2	มกราคม 3	มกราคม 4	มกราคม 5
IN	8.2±0.08	7.9±0	7.1±0.08	6.9±0	7.4±0.05
C	7.2±0	7.2±0	7.2±0	7.4±0	7.4±0.05
CF	7.8±0	7.8±0	7.8±0	7.3±0	7±0
CY	6.9±0.08	6.9±0	6.9±0	6.9±0	6.6±0
N	6.9±0.08	7.3±0	7.2±0.08	7±0.05	7±0
จุดเก็บตัวอย่าง	**กุมภาพันธ์ 1**	**กุมภาพันธ์ 2**	**กุมภาพันธ์ 3**	**กุมภาพันธ์ 4**	
IN	7.4±0	8.3±0.05	8.2±0	7.7±0	
C	7±0	7.1±0.05	7.2±0	7.2±0.05	
CF	7.2±0.05	7.7±0	7.3±0	7.2±0	
CY	6.6±0	6.9±0.09	6.8±0.09	6.6±0.05	
N	6.8±0	7±0	7±0.05	7.5±0.08	
จุดเก็บตัวอย่าง	**มีนาคม 1**	**มีนาคม 2**	**มีนาคม 3**	**มีนาคม 4**	
IN	7.9±0.05	8.3±0	8±0	7.5±0	
C	7±0	7±0	7±0	7.4±0	
CF	7.2±0	7.2±0.05	7.2±0	7.4±0.05	
CY	6.9±0.08	6.5±0.08	6.4±0.08	6.3±0.05	
N	6.8±0.05	7±0	7±0	7±0	

ข้อมูลคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการ(ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ตาราง 14 ปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ (NH_3) (mg/l)

ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ

จุดเก็บตัวอย่าง	มกราคม 1	มกราคม 2	มกราคม 3	มกราคม 4	มกราคม 5
IN	1±0	2±0	1±0	2±0	3±0
C	1±0	1±0	1±0.50	1±0	3±0
CF	1±0	1±0	1±0	1±0	5±0.50
CY	0±0	1±0	0±0.47	0±0.47	0±0.47
N	0±0.47	1±0.47	1±0	1±0	3±0.47
จุดเก็บตัวอย่าง	**กุมภาพันธ์ 1**	**กุมภาพันธ์ 2**	**กุมภาพันธ์ 3**	**กุมภาพันธ์ 4**	
IN	3±0	2±0	13±0	6±0	
C	3±0	1±0	8±0	6±0	
CF	5±0.50	1±0	9±0	6±0	
CY	1±0	0±0	2±0	2±0	
N	4±0.47	1±0	8±0.82	9±0.47	
จุดเก็บตัวอย่าง	**มีนาคม 1**	**มีนาคม 2**	**มีนาคม 3**	**มีนาคม 4**	
IN	14±0	13±0	17±0	18±0	
C	7±0	13±0	13±0	19±0.50	
CF	8±0	12±0	12±0	18±1	
CY	1±0	4±0.47	6±0.47	10±0.47	
N	7±0.47	11±0.94	10±0.47	15±0.47	

ข้อมูลคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการ(ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ตาราง 15 ปริมาณออโธฟอสเฟส (ORP) (mg/l) ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ

จุดเก็บตัวอย่าง	มกราคม 1	มกราคม 2	มกราคม 3	มกราคม 4	มกราคม 5
IN	0.2±0	0.2±0	0.1±0	0±0	0±0
C	0.1±0	0.2±0	0.3±0	0.1±0.05	0.1±0
CF	0.1±0.05	0.2±0	0.3±0.05	0.1±0.05	0.1±0
CY	0±0	0.1±0	0±0.05	0±0	0±0
N	0.1±0.05	0.1±0.05	0.1±0.05	0.1±0.05	0.1±0
จุดเก็บตัวอย่าง	**กุมภาพันธ์ 1**	**กุมภาพันธ์ 2**	**กุมภาพันธ์ 3**	**กุมภาพันธ์ 4**	
IN	0±0	0.1±0	0.1±0	0±0	
C	0.1±0	0.3±0	0.2±0	0.1±0	
CF	0.1±0	0.2±0	0.1±0.05	0.1±0	
CY	0±0	0±0	0±0	0±0	
N	0.1±0	0.1±0.05	0.1±0	0.1±0.05	
จุดเก็บตัวอย่าง	**มีนาคม 1**	**มีนาคม 2**	**มีนาคม 3**	**มีนาคม 4**	
IN	0.1±0	0.5±0	0.1±0	0.1±0	
C	0.2±0	0.1±0	0.4±0	0.3±0	
CF	0.2±0	0.1±0.45	0.4±0	0.3±0	
CY	0±0.05	0.1±0.05	0.1±0	0.1±0	
N	0.1±0	0.1±0	0.1±0.05	0.1±0	

ข้อมูลคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการ(ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ตาราง 16 ปริมาณรวมทั้งหมดของ ไนโตรเจนอินทรีย์(TKN) (mg/l) ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ

จุดเก็บตัวอย่าง	มกราคม 1	มกราคม 2	มกราคม 3	มกราคม 4	มกราคม 5
IN	2±0	3±0	3±0	13±0	15±0
C	2±0	2±0	1±0.50	4±0.50	6±0.50
CF	2±0	1±0	3±0	5±0	4±0
CY	1±0	1±0	1±0	2±0	2±0.47
N	1±0	1±0	3±0	3±0	4±0
จุดเก็บตัวอย่าง	**กุมภาพันธ์ 1**	**กุมภาพันธ์ 2**	**กุมภาพันธ์ 3**	**กุมภาพันธ์ 4**	
IN	17±0	22±0	29±0	23±0	
C	8±0	16±0	12±0	20±0	
CF	7±0	14±0	11±0.50	16±0.50	
CY	4±0.47	4±0	4±0	11±0	
N	5±0.47	8±0	10±0	14±1.41	
จุดเก็บตัวอย่าง	**มีนาคม 1**	**มีนาคม 2**	**มีนาคม 3**	**มีนาคม 4**	
IN	26±0	44±18.86	34±0	44±0	
C	9±0.50	12±0.50	27±0	25±0.50	
CF	9±0.50	13±0.50	23±1	25±0.50	
CY	2±0.47	6±0.82	7±0.47	20±0.47	
N	8±0.47	15±0.82	20±1.63	24±0.47	

ข้อมูลคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการ(ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ตาราง 17 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) (mg/l) ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ

จุดเก็บตัวอย่าง	มกราคม 1	มกราคม 2	มกราคม 3	มกราคม 4	มกราคม 5
IN	23±0	58±0	32±0	140±0	95±0
C	18±2	20±0	27±0.50	29±1	33±1
CF	17±3	16±0	24±0	28±0	32±4
CY	7±4.24	10±3.30	9±2.49	21±1.89	18±0
N	16±3.27	13±3.40	9±0.94	25±4.71	21±0.94
จุดเก็บตัวอย่าง	**กุมภาพันธ์ 1**	**กุมภาพันธ์ 2**	**กุมภาพันธ์ 3**	**กุมภาพันธ์ 4**	
IN	71±0	604±0	200±0	297±0	
C	38±2	80±2	47±1	37±1.50	
CF	47±1	57±1	47±1	72±5.50	
CY	28±2.87	20±4.11	11±10.37	40±17.78	
N	46±8.64	81±0.94	39±5.73	67±28.67	
จุดเก็บตัวอย่าง	**มีนาคม 1**	**มีนาคม 2**	**มีนาคม 3**	**มีนาคม 4**	
IN	96±0	131±0	155±0	1011±0	
C	38±2	111±3	129±3	255±12.50	
CF	44±2	101±9	175±9	362±0	
CY	10±5.89	29±6.85	42±14.64	37±3.40	
N	49±6.63	91±3.40	139±38.03	177±27.54	

ข้อมูลคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีบางประการ(ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ตาราง 18 ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) (mg/l) ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ

จุดเก็บตัวอย่าง	มกราคม 1	มกราคม 2	มกราคม 3	มกราคม 4	มกราคม 5
IN	54.6±0	62.30±0	84.00±0	68.60±0	102.90±0
C	35.7±2.80	23.80±0	44.80±7.70	68.60±0	52.50±0
CF	24.5±2.80	23.80±0	34.30±2.80	60.55±2.45	52.50±0
CY	1.87±2.64	7.70±0	19.60±4.95	38.73±2.31	42.23±4.29
N	16.57±4.29	13.30±0	31.73±4.29	54.37±6.42	49.23±2.31
จุดเก็บตัวอย่าง	**กุมภาพันธ์ 1**	**กุมภาพันธ์ 2**	**กุมภาพันธ์ 3**	**กุมภาพันธ์ 4**	
IN	113.40±0	131.60±0	186.90±0	148.40±0	
C	73.50±0	57.75±2.45	154.00±0	97.30±0	
CF	71.05±2.45	52.50±2.80	148.40±0	92.40±0	
CY	35.00±4.95	25.43±8.88	80.50±6.74	23.80±0	
N	57.87±4.29	49.93±11.45	120.40±0	60.20±0	
จุดเก็บตัวอย่าง	**มีนาคม 1**	**มีนาคม 2**	**มีนาคม 3**	**มีนาคม 4**	
IN	158.20±0	40.70±0	285.60±0	186.90±0	
C	44.80±0	120.40±0	235.90±5.60	186.90±0	
CF	39.20±0	82.25±5.25	211.40±2.80	186.90±0	
CY	23.57±7.26	40.37±2.64	146.30±12.87	85.87±2.31	
N	27.30±9.90	52.97±2.31	199.27±5.28	186.90±0	

ภาคผนวก ข

ตาราง 19 ข้อมูลวิเคราะห์ของแพลงก์ตอนพืชกับคุณภาพน้ำบางประการโดย PCA

PRINCIPAL COMPONENTS ANALYSIS

Imported data

Analysis begun: 25 December 2016 2016 16:47:54

Analysing 9 variables x 5 cases

Data log(e) transformed

Tolerance of eigenanalysis set at 1E-007

Data standardized

Eigenvalues

	Axis 1	Axis 2
Eigenvalues	6.647	1.438
Percentage	73.856	15.979
Cum. Percentage	73.856	89.835

PCA variable loadings

	Axis 1	Axis 2
BOD	0.381	-0.132
COD	0.380	-0.134
SS	0.377	-0.026
TKN	0.373	-0.095
ORP	0.257	-0.276
NH3	0.377	0.038

	Axis 1	Axis 2
pH	0.370	-0.126
Temp	0.141	0.723
DO	-0.253	-0.583

PCA case scores

	Axis 1	Axis 2
IN	1.484	-0.105
C	0.212	-0.605
CF	0.400	-0.119
CY	-2.059	-0.179
N	-0.036	1.008

ตาราง 20ข้อมูลวิเคราะห์ของแพลงก์ตอนพืชกับคุณภาพน้ำบางประการโดย CCA ในระบบบึงประดิษฐ์แบบลอยน้ำ

CANONICAL CORRESPONDENCE ANALYSIS

Imported data

Analysis begun: 25 ธันวาคม 2016 16:56:30

Analysing 88 variables x 5 cases

Imported data

Analysing 9 variables x 5 cases

Data log(e) transformed

Tolerance of eigenanalysis set at 1E-007

Rare species will be downweighted

Scores scaled by species

Variable	Weighted mean	Weighted SD	Inflation Factor	
BOD	74.587	23.664	0.000	***
COD	119.483	38.319	0.000	***
SS	91.759	70.684	2.499	
TKN	11.401	5.421	0.000	***
ORP	0.122	0.057	1.061	
NH3	5.390	1.771	0.000	***
pH	7.224	0.352	0.000	***

Temp	29.049	0.074	3.918
DO	5.311	0.374	5.468

Multicollinearity detected. Variables marked with "***" will be ignored in analysis

Eigenvalues

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
Eigenvalues	0.244	0.094	0.078	0.042
Percentage	53.190	20.566	17.021	9.222
Cum. Percentage	53.190	73.756	90.778	100.000
Cum.Constr.Percentage	53.190	73.756	90.778	100.000
Spec.-env. correlations	1.000	1.000	1.000	1.000

CCA variable scores

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
Coe-ast	0.808	-0.676	0.270	-0.437
Cycl-sp.1	-0.013	0.013	-0.007	0.022
Eug-sp.1	-0.096	0.173	-0.002	-0.039
Pha-orb	0.054	0.177	0.052	0.015
Per-nig	1.930	-0.089	-0.185	0.036
Eug-sp.2	-0.074	0.000	-0.031	0.021
Dia-bal	-0.084	-0.042	-0.091	-0.025
Sce-acu	0.018	-0.018	-0.023	0.012
Sce-sp.1	-0.018	0.027	-0.006	0.029
Pha-ran	0.961	0.543	0.504	0.202
Tet-sp.1	-0.176	-0.051	0.017	-0.005
Eug-sp.3	-0.143	0.113	-0.077	-0.029
Nit-pal	0.768	0.669	0.642	0.235
Pin-sp.5	1.930	-0.089	-0.185	0.036
Mel-sp.1	-0.104	0.074	-0.031	0.067
Mic-sp.1	-0.161	0.054	-0.082	0.000
Clo-sp.1	0.055	0.120	0.005	0.026
Pha-sue	1.930	-0.089	-0.185	0.036
Cya-sp.1	-0.034	-0.106	0.123	-0.022

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
Did-sp.1	0.390	0.035	0.681	-0.144
Eud-ele	0.120	-0.300	0.330	0.191
Gom-sp.1	-0.523	0.047	-0.084	-0.050
Lep-pla	-0.185	-0.135	-0.068	0.011

Gom-gra	-0.485	-0.324	0.544	0.227
Eun-sp.1	-0.524	0.033	-0.083	-0.005
Gom-sp.2	-0.518	0.009	-0.004	-0.007
Nit-sp.1	-0.098	0.056	-0.047	0.029
Vol-sp.1	-0.530	0.044	-0.129	0.104
Ped-dup	0.025	0.031	0.018	0.008
Gol-sp.1	-0.592	0.892	-1.397	-1.048
Ent-ova	-0.326	1.383	1.419	0.422
Tra-vol	-0.401	0.103	1.127	-0.235
Fra-sp.1	-0.114	-0.027	-0.041	-0.119
Mel-var	-0.124	-0.003	0.003	0.025
Coe-ver	0.879	-0.639	0.240	-0.407
Pse-sp.1	0.047	0.082	-0.032	-0.008
Pin-sp.1	-0.080	-0.011	-0.037	-0.036
Kir-lun	0.067	0.174	-0.021	0.078
Sce-sp.6	0.253	-0.338	-0.297	-0.069

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
Ulo-sp.1	-0.471	1.115	-0.116	-0.379
Chl-sp.1	-0.035	0.028	-0.008	-0.008
Tet-inc	-0.030	0.058	0.018	0.039
Cos-sp.1	-0.513	0.603	-0.185	0.292
Coc-pla	-0.519	-0.067	0.021	0.002
Nav-vir	-0.569	-0.310	-0.443	-0.303
Nei-sp.1	-0.648	-0.668	-0.705	1.691
Coe-mic	0.065	-0.022	-0.035	0.054
Mon-tor	0.071	-0.040	-0.048	0.003
Sce-sp.2	-0.040	0.025	0.002	0.058
Mon-con	0.994	0.522	0.481	0.196
Sce-sp.3	0.106	0.098	0.094	-0.021
Dia-sp.1	-0.067	0.085	-0.098	-0.034
Ped-obt	1.930	-0.089	-0.185	0.036
Nit-sp.3	-0.497	-0.257	0.428	0.445
Mic-qua	0.384	0.148	-0.763	0.007
Mer-pun	1.930	-0.089	-0.185	0.036
Chl-sp.1	1.930	-0.089	-0.185	0.036
Lep-sp.1	1.930	-0.089	-0.185	0.036
Tra-sup	1.930	-0.089	-0.185	0.036

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
Glo-sp.1	-0.076	-0.250	-0.408	-0.239
Act-sp.1	0.216	-0.236	-0.420	-0.018
Sce-sp.7	0.278	0.304	0.159	-0.299
Chr-sp.1	-0.511	-0.001	0.078	0.021
Eug-sp.4	0.282	0.022	-0.717	0.330
Eug-ana	-0.130	-0.122	-0.081	0.019
Nit-sp.2	-0.500	-0.372	0.433	0.343
Sce-sp.5	0.498	-0.651	0.015	0.099
Eun-sp.2	-0.547	-1.098	0.234	0.016
Pin-sp.4	-0.486	-1.353	0.794	-0.981
Sce-sp.8	-0.026	0.044	0.004	0.050
Act-han	0.286	0.163	0.165	-0.348
Sce-sp.4	1.930	-0.089	-0.185	0.036
Act-sp.2	0.501	-0.076	0.592	-0.183
Eug-gem	1.930	-0.089	-0.185	0.036
Lep-spi	-0.578	-0.447	-0.409	0.023
Osci-sp.1	-0.491	-0.334	0.501	0.279
Str-gib	-0.486	-1.353	0.794	-0.981
Pin-sp.3	-0.466	1.124	-0.067	-0.354
Tra-sp.1	1.930	-0.089	-0.185	0.036

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
Per-tri	1.930	-0.089	-0.185	0.036
Lep-acu	0.087	-0.037	-0.066	0.017
Pha-sp.1	-0.545	0.382	-0.374	0.459
Cyc-men	-0.468	1.120	-0.088	-0.365
Clo-sp.2	1.930	-0.089	-0.185	0.036
Eug-sp.7	-0.486	0.311	0.062	-0.629
Eug-sp.5	0.791	0.654	0.625	0.231
Pha-lon	-0.010	-0.347	-0.343	-0.087
Eug-sp.6	0.741	0.687	0.661	0.239

CCA case scores

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
IN	1.930	-0.089	-0.185	0.036
CY	-0.326	1.383	1.419	0.422
N	-0.592	0.892	-1.397	-1.048
CF	-0.648	-0.668	-0.705	1.691
C	-0.486	-1.353	0.794	-0.981

Site scores, constrained by env. data

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
IN	1.930	-0.089	-0.185	0.036
CY	-0.326	1.383	1.419	0.422
N	-0.592	0.892	-1.397	-1.048
CF	-0.648	-0.668	-0.705	1.691
C	-0.486	-1.353	0.794	-0.981

Canonical coefficients

	Spec. Axis 1	Spec. Axis 2	Spec. Axis 3	Spec. Axis 4
BOD	0.000	0.000	0.000	0.000
COD	0.000	0.000	0.000	0.000
SS	1.185	0.032	0.934	0.470
TKN	0.000	0.000	0.000	0.000
ORP	-0.189	0.861	0.091	-0.526
NH3	0.000	0.000	0.000	0.000
pH	0.000	0.000	0.000	0.000
Temp	0.194	-0.490	1.906	0.088
DO	0.349	0.126	2.040	1.082

Interset correlations between env. variables and site scores

	Envi. Axis 1	Envi. Axis 2	Envi. Axis 3	Envi. Axis 4
BOD	0.843	0.381	0.153	-0.347
COD	0.849	0.376	0.150	-0.340
SS	0.972	0.097	-0.065	-0.202
TKN	0.951	0.197	0.053	-0.234
ORP	0.007	0.812	0.233	-0.536
NH3	0.608	0.380	0.181	-0.673
pH	0.794	0.367	-0.125	-0.467

	Envi. Axis 1	Envi. Axis 2	Envi. Axis 3	Envi. Axis 4
Temp	-0.031	-0.507	0.432	-0.745
DO	-0.417	0.394	0.106	0.813

Intraset correlations between env. variables and constrained site scores

	Envi. Axis 1	Envi. Axis 2	Envi. Axis 3	Envi. Axis 4
BOD	0.843	0.381	0.153	-0.347
COD	0.849	0.376	0.150	-0.340
SS	0.972	0.097	-0.065	-0.202

TKN	0.951	0.197	0.053	-0.234
ORP	0.007	0.812	0.233	-0.536

	Envi. Axis 1	Envi. Axis 2	Envi. Axis 3	Envi. Axis 4
NH3	0.608	0.380	0.181	-0.673
pH	0.794	0.367	-0.125	-0.467
Temp	-0.031	-0.507	0.432	-0.745
DO	-0.417	0.394	0.106	0.813

Biplot scores for env. variables

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
BOD	0.843	0.381	0.153	-0.347
COD	0.849	0.376	0.150	-0.340
SS	0.972	0.097	-0.065	-0.202

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
TKN	0.951	0.197	0.053	-0.234
ORP	0.007	0.812	0.233	-0.536
NH3	0.608	0.380	0.181	-0.673
pH	0.794	0.367	-0.125	-0.467
Temp	-0.031	-0.507	0.432	-0.745
DO	-0.417	0.394	0.106	0.813

Centroids of env. variables

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
BOD	0.267	0.121	0.049	-0.110
COD	0.272	0.120	0.048	-0.109
SS	0.749	0.075	-0.050	-0.156
TKN	0.452	0.094	0.025	-0.111
ORP	0.003	0.379	0.109	-0.250
NH3	0.200	0.125	0.060	-0.221
pH	0.039	0.018	-0.006	-0.023
Temp	0.000	-0.001	0.001	-0.002
DO	-0.029	0.028	0.021	0.018

ภาคผนวก ค

ตาราง 21 วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติระหว่างชุดการทดลองในแต่ละพารามิเตอร์เคมี โดยใช้การวิเคราะห์ spss

COD

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
น้ำเข้าระบบ	5	182.1980	54.91564	24.55902	114.0112	250.3848	116.00	265.00
ควบคุมมีแพลอยน้ำ	5	126.8680	54.24267	24.25806	59.5168	194.2192	64.33	187.67
ควบคุมไม่มีแพลอยน้ำ	5	134.5980	53.88701	24.09900	67.6884	201.5076	73.33	207.00
ระบบมีพืชกกรังกา	5	48.3340	16.90495	7.56012	27.3437	69.3243	29.00	70.67
ระบบมีพืชไอริส	5	96.7980	54.58704	24.41207	29.0192	164.5768	50.33	167.33
Total	25	117.7592	63.70499	12.74100	91.4631	144.0553	29.00	265.00

COD

Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.846	4	20	.160

COD

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	48890.523	4	12222.631	5.039	.006
Within Groups	48509.307	20	2425.465		
Total	97399.831	24			

	ระบบ	N	Subset for alpha = 0.05		
			1	2	3
Duncan[a]	ระบบมีพืชกกรังกา	5	48.3340		
	ระบบมีพืชไอริส	5	96.7980	96.7980	
	ควบคุมมีแพลอยน้ำ	5		126.8680	126.8680
	ควบคุมไม่มีแพลอยน้ำ	5		134.5980	134.5980
	น้ำเข้าระบบ	5			182.1980
	Sig.		.135	.265	.107

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

DO

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
น้ำเข้าระบบ	5	5.0120	.52337	.23406	4.3621	5.6619	4.17	5.59
ควบคุมมีแพลอยน้ำ	5	5.0740	.44015	.19684	4.5275	5.6205	4.50	5.64
ควบคุมไม่มีแพลอยน้ำ	5	5.7420	.46467	.20781	5.1650	6.3190	5.17	6.27
ระบบมีพืชกกรังกา	5	5.5060	.27024	.12086	5.1705	5.8415	5.20	5.87
ระบบมีพืชไอริส	5	4.9580	.68119	.30464	4.1122	5.8038	3.90	5.74
Total	25	5.2584	.55088	.11018	5.0310	5.4858	3.90	6.27

DO Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.612	4	20	.659

DO ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.401	4	.600	2.458	.079
Within Groups	4.882	20	.244		
Total	7.283	24			

	ระบบ	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Duncan[a]	ระบบมีพีชไอริส	5	4.9580	
	น้ำเข้าระบบ	5	5.0120	
	ควบคุมมีแพลอยน้ำ	5	5.0740	5.0740
	ระบบมีพีชกกรังกา	5	5.5060	5.5060
	ควบคุมไม่มีแพลอยน้ำ	5		5.7420
	Sig.		.122	.055

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

TKN

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
น้ำเข้าระบบ	5	22.3340	4.47915	2.00314	16.7724	27.8956	15.00	26.67
ควบคุมมีแพลอยน้ำ	5	11.1980	3.60939	1.61417	6.7164	15.6796	6.00	15.33
ควบคุมไม่มีแพลอยน้ำ	5	12.1320	3.99088	1.78478	7.1767	17.0873	6.33	16.33
ระบบมีพืชกกรังกา	5	5.8000	3.59506	1.60776	1.3361	10.2639	2.33	11.00
ระบบมีพืชไอริส	5	9.7340	3.47466	1.55391	5.4196	14.0484	4.67	13.67
Total	25	12.2396	6.61362	1.32272	9.5096	14.9696	2.33	26.67

TKN **Test of Homogeneity of Variances**

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.042	4	20	.996

TKN **ANOVA**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	753.699	4	188.425	12.729	.000
Within Groups	296.061	20	14.803		
Total	1049.760	24			

	ระบบ	N	Subset for alpha = 0.05		
			1	2	3
Duncan[a]	ระบบมีพีชกกรังกา	5	5.8000		
	ระบบมีพีชไอริส	5	9.7340	9.7340	
	ควบคุมมีแพลอยน้ำ	5		11.1980	
	ควบคุมไม่มีแพลอยน้ำ	5		12.1320	
	น้ำเข้าระบบ	5			22.3340
	Sig.		.122	.363	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

NH3

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
น้ำเข้าระบบ	5	7.6000	1.93362	.86474	5.1991	10.0009	5.67	10.33
ควบคุมมีแพลอยน้ำ	5	6.7340	1.94748	.87094	4.3159	9.1521	4.67	8.67
ควบคุมไม่มีแพลอยน้ำ	5	6.2000	1.95164	.87280	3.7767	8.6233	3.67	8.67
ระบบมีพืชกกรังกา	5	2.2680	1.29966	.58123	.6543	3.8817	.67	4.00
ระบบมีพืชไอริส	5	5.7320	1.91810	.85780	3.3504	8.1136	3.67	8.33
Total	25	5.7068	2.50315	.50063	4.6736	6.7400	.67	10.33

NH3 Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.434	4	20	.782

NH3 ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	83.543	4	20.886	6.250	.002
Within Groups	66.835	20	3.342		
Total	150.378	24			

	ระบบ	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Duncan[a]	ระบบมีพืชกกรังกา	5	2.2680	
	ระบบมีพืชไอริส	5		5.7320
	ควบคุมไม่มีแพลอยน้ำ	5		6.2000
	ควบคุมมีแพลอยน้ำ	5		6.7340
	น้ำเข้าระบบ	5		7.6000
	Sig.		1.000	.153

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

pH

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
น้ำเข้าระบบ	5	7.7020	.33929	.15174	7.2807	8.1233	7.37	8.17
ควบคุมมีแพลอยน้ำ	5	7.3600	.22450	.10040	7.0812	7.6388	7.03	7.57
ควบคุมไม่มีแพลอยน้ำ	5	7.1820	.10134	.04532	7.0562	7.3078	7.07	7.30
ระบบมีพืชกกรังกา	5	6.6880	.02683	.01200	6.6547	6.7213	6.67	6.73
ระบบมีพืชไอริส	5	7.0480	.10281	.04598	6.9203	7.1757	6.90	7.17
Total	25	7.1960	.38535	.07707	7.0369	7.3551	6.67	8.17

pH

Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
5.950	4	20	.003

pH

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.815	4	.704	18.812	.000
Within Groups	.748	20	.037		
Total	3.564	24			

	ระบบ	N	Subset for alpha = 0.05			
			1	2	3	4
Duncan[a]	ระบบมีพีชกกรังกา	5	6.6880			
	ระบบมีพีชไอริส	5		7.0480		
	ควบคุมไม่มีแพลอยน้ำ	5		7.1820	7.1820	
	ควบคุมมีแพลอยน้ำ	5			7.3600	
	น้ำเข้าระบบ	5				7.7020
	Sig.		1.000	.286	.161	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

Temp

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
น้ำเข้าระบบ	5	28.1000	3.46416	1.54922	23.7987	32.4013	22.00	30.37
ควบคุมมีแพลอยน้ำ	5	28.2260	3.04309	1.36091	24.4475	32.0045	23.00	30.40
ควบคุมไม่มีแพลอยน้ำ	5	28.0860	3.50292	1.56656	23.7365	32.4355	22.00	30.40
ระบบมีพีชกกรังกา	5	28.0320	3.43601	1.53663	23.7656	32.2984	22.00	30.60
ระบบมีพีชไอริส	5	28.2260	3.57978	1.60093	23.7811	32.6709	22.00	31.13
Total	25	28.1340	3.11423	.62285	26.8485	29.4195	22.00	31.13

Temp

Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.027	4	20	.998

Temp

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.154	4	.038	.003	1.000
Within Groups	232.609	20	11.630		
Total	232.763	24			

	ระบบ	N	Subset for alpha = 0.05
			1
Duncan[a]	ระบบมีพีชกกรังกา	5	28.0320
	ควบคุมไม่มีแพลอยน้ำ	5	28.0860
	น้ำเข้าระบบ	5	28.1000
	ควบคุมมีแพลอยน้ำ	5	28.2260
	ระบบมีพีชไอริส	5	28.2260
	Sig.		.937

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ORP

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
น้ำเข้าระบบ	5	.1740	.22323	.09983	-.1032	.4512	.03	.57
ควบคุมมีแพลอยน้ำ	5	.1740	.05727	.02561	.1029	.2451	.13	.27
ควบคุมไม่มีแพลอยน้ำ	5	.1860	.07021	.03140	.0988	.2732	.13	.30
ระบบมีพืชกกรังกา	5	.0320	.02490	.01114	.0011	.0629	.00	.07
ระบบมีพืชไอริส	5	.1000	.00000	.00000	.1000	.1000	.10	.10
Total	25	.1332	.11582	.02316	.0854	.1810	.00	.57

ORP **Test of Homogeneity of Variances**

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.444	4	20	.010

ORP **ANOVA**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.087	4	.022	1.860	.157
Within Groups	.235	20	.012		
Total	.322	24			

	ระบบ	N	Subset for alpha = 0.05
			1
Duncan[a]	ระบบมีพีชกกรังกา	5	.0320
	ระบบมีพีชไอริส	5	.1000
	น้ำเข้าระบบ	5	.1740
	ควบคุมมีแพลอยน้ำ	5	.1740
	ควบคุมไม่มีแพลอยน้ำ	5	.1860
	Sig.		.055

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ORP

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
น้ำเข้าระบบ	5	224.2680	162.06392	72.47719	23.0391	425.4969	63.67	482.67
ควบคุมมีแพลอยน้ำ	5	83.1340	44.39324	19.85326	28.0125	138.2555	36.00	154.00
ควบคุมไม่มีแพลอยน้ำ	5	68.1320	26.85428	12.00960	34.7880	101.4760	31.33	107.00
ระบบมีพืชกกรังกา	5	22.1320	6.14509	2.74817	14.5019	29.7621	12.33	29.33
ระบบมีพืชไอริส	5	59.5320	18.84067	8.42580	36.1382	82.9258	35.00	80.33
Total	25	91.4396	99.53720	19.90744	50.3527	132.5265	12.33	482.67

ORP

Test of Homogeneity of Variances

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
5.632	4	20	.003

SS

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	120386.247	4	30096.562	5.127	.005
Within Groups	117397.435	20	5869.872		
Total	237783.682	24			

	ระบบ	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Duncan[a]	ระบบมีพีชกกรังกา	5	22.1320	
	ระบบมีพีชไอริส	5	59.5320	
	ควบคุมไม่มีแพลอยน้ำ	5	68.1320	
	ควบคุมมีแพลอยน้ำ	5	83.1340	
	น้ำเข้าระบบ	5		224.2680
	Sig.		.262	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ภาคผนวก ง

การจัดการคุณภาพน้ำตามคุณสมบัติของแพลงก์ตอนชนิดเด่น

ตาม AARL- PC Score (ยุวดี 2549)

การประเมินคุณภาพน้ำเป็นวิธีที่ได้มาจากห้องปฏิบัติการวิจัยสาหร่ายประยุกต์ (Applied Algal Research Laboratory = AARL)ภาควิชาชีววิทยาคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มี 2 วิธี ดังนี้

1. วิธี AARL – PP Score (ยุวดี 2549)

โดยการประเมินมีตารางที่เกี่ยวข้อง 2 ตารางคือ ตารางที่เป็นตารางแสดงคะแนนคุณภาพน้ำตามระดับสารอาหาร (Trophiclevel) การคำนวณมาจากระดับสารอาหารน้อย (Oligotrophic status) จนถึงระดับสารอาหารสูงมาก (Hypereutrophic status) โดยแบ่งคุณภาพน้ำออกเป็น 6 ระดับ ให้คะแนนตั้งแต่ 1-10 จัดตามอันตรภาคชั้นที่เท่าๆกัน จะได้คะแนนของคุณภาพน้ำตามระดับสารอาหารและคุณภาพน้ำทั่วไป

ส่วนตารางที่เป็นตารางแสดงแพลงก์ตอนพืชที่เด่น จัดตามระดับสารอาหาร โดยคะแนนของแพลงก์ตอนพืชนี้มาจากรายงานการวิจัยดังที่กล่าวมา (ยุวดี, 2549)

ตาราง 21 แสดงคะแนนคุณภาพน้ำตามระดับสารอาหารและคุณภาพน้ำทั่วไป (ยุวดี, 2549)

คะแนน	คุณภาพน้ำตามระดับสารอาหาร	คุณภาพน้ำทั่ว ไป
1.0-2.0	ระดับ Oligotrophic สารอาหารน้อย	คุณภาพน้ำดี
2.1-3.5	ระดับ Oligo- mesotrophic สารอาหารน้อยถึงปานกลาง	คุณภาพน้ำดี ปานกลาง
3.6-5.5	ระดับ Mesotrophic สารอาหารปานกลาง	คุณภาพน้ำดี ปานกลาง
5.6-7.5	ระดับ Meso – eutrophic สารอาหารปานกลางถึงสูง	คุณภาพน้ำดี ปานกลางถึงไม่ดี
7.6-9.0	ระดับ Eutrophic สารอาหารสูง	คุณภาพน้ำ ไม่ดี
9.1-10.0	ระดับ Hypeyeutrophic	คุณภาพน้ำ ไม่ดีอย่างมาก

ตาราง 22 แสดงคะแนนแพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นจัดตามระดับสารอาหาร (ยุวดี,2549)

จีนัส	คะแนน	จีนัส	คะแนน
Actinastrum	5	*Gymnodinium*	6
Acanthoceras	5	*Gyrosigma*	7
Achnanthes	6	*Hantzschia*	8
Amphora	6	*Isthmochloron*	5
Anabaena	8	*Kirchneriella*	5
Ankistrodesmus	7	*Melosiera*	5
Aphanocapsa	5	*Merismopedia*	9
Aphanothece	5	*Micractinium*	7
Aulacoseira	6	*Micrasterias*	2
Bacillaria	7	*Microcystis*	8
Botryococcus	4	*Monoraphidium*	7
Centritractus	4	*Navicula*	5
Ceratium	4	*Nephrocytium*	5
Chlamydomonas	6	*Nitzschia*	9
Chlorella	6	*Oocysis*	6
Chroococcus	6	*Oscillatoria*	9
Closterium	6	*Pandorina*	6
Cocconeis	6	*Pediastrum*	7
Coelastrum	7	*Peridiniopsis*	6
Cosmarium	2	*Peridnium*	6
Crucigenia	7	*Phacus*	8
Crucigeniella	7	*Phormidium*	9
Cryptomonas	8	*Pinnularia*	5
Cylindrospermopsis	2	*Planktolyngbya*	7
Cymbella	5	*Rhizosolenia*	6
Dictyosphaerium	7	*Rhodomonas*	8
Dimorphococcus	7	*Rhopalodia*	5
Dinobryon	1	*Scenedesmus*	8
Elakatothrix	3	*Spirulina*	9

จีนัส	คะแนน	จีนัส	คะแนน
Encyonema	6	*Staurastrum*	3
Epithemia	6	*Staurodesmus*	3
Euastrum	3	*Stauroneis*	5
Eudorina	2	*Strombomonas*	8
Euglena	10	*Surirella*	6
Eunotia	2	*Synedra*	6
Fragilaria	2	*Synura*	8
Golenkinia	5	*Tetraedron*	6
Gomphonema	5	*Trachelomonas*	8
Gonium	6	*Volvox*	6

วิธีการศึกษา มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เก็บรวบรวมแพลงก์ตอนพืชจากแหล่งน้ำที่ศึกษาโดยการใช้ตาข่ายแพลงก์ตอน ซึ่งมีขนาดของช่องแต่ละช่อง 10 ไมโคเมตร กรองจากแหล่งน้ำนั้น 20 ลิตร ขึ้นอยู่กับความมากน้อยของแพลงก์ตอนพืช

2. วินิจฉัยแพลงก์ตอนพืชที่จะศึกษาถึงระดับจีนัส (ในกรณีไม่ต้องวิเคราะห์ถึงระดับสปีชีส์) นับจำนวนแพลงก์ตอนพืชแต่ละจีนัสที่เด่นที่สุดและรองลงไป 3-5 จีนัส

3. ดูคะแนนของแต่ละจีนัสที่บ่งบอกคุณภาพน้ำในตาราง

4. นำคะแนนแต่ละจีนัสมารวมกันและหาค่าเฉลี่ยออกมา

5. นำค่าเฉลี่ยไปเปรียบเทียบคะแนนในตาราง จะทราบถึงคุณภาพน้ำตามระดับสารอาหารและคุณภาพน้ำทั่วไป

ตัวอย่าง สมมุติว่าในแหล่งน้ำ A มีแพลงก์ตอนพืชชนิดเด่น 3 ชนิดคือ *Dinobryon* sp. *Phacus* sp. และ *Cosmarium* sp.

วิธีการหาคะแนนของแพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นจากตาราง พบว่า คะแนนแต่ละจีนัส มีดังนี้

Dinobryon sp. = 1

Phacus sp. = 8

Cosmarium sp. = 2

นำคะแนนทั้งหมดรวมมากัน ได้เท่ากับ 11 คะแนน

จากนั้นหารด้วยจำนวนจีนัสของแพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นที่นำมาคำนวณ จากตัวอย่างนี้เท่ากับ 3 จีนัส

ดังนั้นคะแนนคุณภาพของแหล่งน้ำ A

= 11/3

= 3.67

จากนั้นนำคะแนนมาเปรียบเทียบคุณภาพน้ำในตาราง พบว่าอยู่ในระดับ Mesotrophic สารอาหารปานกลาง คุณภาพน้ำดี ปานกลาง

2. การประเมินความหลากหลายของแพลงก์ตอนด้วยดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ แชนนอนเวียเนอร์ (Shannon – Wiener's Index)

$$H = -\sum_{i=1}^{s}(Pi)(InPi)$$

เมื่อ H = ดัชนีความหลากหลาย

S = จำนวนชนิด

Pi = สัดส่วนของตัวอย่างทั้งหมดที่เป็นของสิ่งมีชีวิตชนิด I (จำนวนหรือมวลชีวภาพ)*หมายเหตุ อาจใช้ ln log10 หรือ log2

ตัวอย่าง การใช้ดัชนีของ Shannon–Wiener diversity index

สังคมชีวิตที่ 1	ชนิด	จำนวน(ตัว/ม.2)
	A	99
	B	1

H1 = -[(99/100) (ln 99/100) + (1/100) (ln 1/100)]

= 0.056

$$\text{ประสิทธิภาพการบำบัด}(\%) = \frac{(\text{น้ำเสียก่อนเข้าระบบ} - \text{น้ำเสียหลังการบำบัด})}{\text{น้ำเสียก่อนเข้าระบบ}} \times 100$$

การกำหนดประเภทแหล่งน้ำผิวดิน

ประเภทที่ 1 ได้แก่ แหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน

(2) การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน

(3) การอนุรักษ์ระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ

ประเภทที่ 2 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

(2) การอนุรักษ์สัตว์น้ำ

(3) การประมง

(4) การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ

ประเภทที่ 3 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

(2) การเกษตร

(1) ประเภทที่ 4 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน

(2) การอุตสาหกรรม

(2) ประเภทที่ 5 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคม

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี

1. การวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) (Azide Modifacation)

1.1 สารเคมีและการเตรียมสารละลาย

1.1.1 สารละลายแมงกานีสซัลเฟต ละลายแมงกานีสซัลเฟตเตตราไฮเดรต ($MnSO_4.4h_2O$) 480 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตไดไฮเดรต ($MnSO_4.2H_2O$) 400 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต ($MnSO_4.H_2O$) 364 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจืองจางเป็น 1 ลิตร

1.1.2 สารละลายอัลคาไล-ไอโอไดด์-เอไซด์ ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 500 กรัม (หรือโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 700 กรัม) และโซเดียมไอโอไดซ์ (NaI) 135 กรัม (หรือโปรแตสเซียมไอโอไดด์ 150 กรัม) ในน้ำกลั่น เจือจางเป็น 1 ลิตร และละลายโซเดียมเอไซด์ (NaN_3) 10 กรัม ในน้ำกลั่น 40 มล. แล้วเติมสารละลายลงในข้างต้น สารละลายนี้ไม่ควรเกิดสีกับน้ำแป้ง เมื่อทำให้เป็นกรดหรือทำให้เจืองจาง

1.1.3 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Conc.H_2SO_4) ซึ่ง 1 ลบ.ซม. จะสมมูลย์กับ 3 ลบ.ซม. ของอัลคาไลไอโอไดด์เอไซด์-เอไซด์รีเอเจนต์

1.1.4 น้ำแป้ง ละลายแป้ง (soluble starch) 2 กรัมในน้ำกลั่นที่ร้อนปริมาตร 100 ลบ.ซม.แล้วเติมกรดซาลิไซลิก (salicylic acid) 0.2 กรัม เพื่อให้เก็บได้นาน

1.1.5 สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 โมล/ลบ.ดม. ละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2SO_3.5H_2O$) 24.82 กรัม เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6 โมล/ลบ.ดม. จำนวน 6.0 ลบ.ซม. หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.6 กรัม แล้วทำให้เจือจางเป็น 1,000 ลบ.ซม. สารละลายนี้จะต้องหาความเข้มข้นที่แน่นอน (Standardization) ด้วยสารไบไอโอเดต จึงนำไปเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้น 0.0.25 โมล/ลบ.ดม.

1.1.6 สารละลายไบไอโอเดต 0.0021 โมล/ลบ.ดม. ละลาย $KH(IO3)_2$ 812.4 มก แล้วเจือจางเป็น 1,000 ลบ.ซม.

1.2 การหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต

ละลาย KI ประมาณ 2 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 100-150 ลบ.ซม. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3 โมล/ลบ.ดม. จำนวน 1 ลบ.ซม. หรือกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2-3 หยด และสารละลายมาตรฐานไบโอไอเดต 20.00 ลบ.ซม. แล้วทำให้เจือจางเป็น 200 ลบ.ซม. แล้วไทเทรตหาปริมาณไอโอดีนซึ่งถูกขับออกมาด้วยสารละลายมาตรฐานไทโอซัลเฟตที่เตรียมไว้ เติมน้ำแป้งเมื่อใกล้จุดยุติจะได้สารละลายสีเหลืองอ่อน ถ้าสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตมีความเข้มข้น 0.025

โมล/ลบ.ดม. ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตจะเท่ากับ 20.00 ลบ.ซม. ถ้าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตไม่ได้ค่าดังกล่าว ให้ปรับความเข้มข้นให้เท่ากับ 0.025 โมล/ลบ.ดม.

2. การวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอาหาร (BOD) (Azide Modifacation)

2.1 สารเคมีและการเตรียมสารละลาย

2.1.1 สารละลายแมงกานีสซัลเฟต ละลายแมงกานีสซัลเฟตเตตราไฮเดรต ($MnSO_4.4h_2O$) 480 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตไดไฮเดรต ($MnSO_4.2H_2O$) 400 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต ($MnSO_4.H_2O$) 364 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจืองจางเป็น 1 ลิตร

2.1.2 สารละลายอัลคาไล-ไอโอไดด์-เอไซด์ ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 500 กรัม (หรือโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 700 กรัม) และโซเดียมไอโอไดซ์ (NaI) 135 กรัม (หรือโปรแตสเซียมไอโอไดด์ 150 กรัม) ในน้ำกลั่น เจือจางเป็น 1 ลิตร และละลายโซเดียมเอไซด์ (NaN_3) 10 กรัม ในน้ำกลั่น 40 มล. แล้วเติมสารละลายลงในข้างต้น สารละลายนี้ไม่ควรเกิดสีกับน้ำแป้ง เมื่อทำให้เป็นกรดหรือทำให้เจืองจาง

2.1.3 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Conc.H_2SO_4) ซึ่ง 1 ลบ.ซม. จะสมมูลย์กับ 3 ลบ. ซม. ของอัลคาไลไอโอไดด์เอไซด์-เอไซด์รีเอเจนต์

2.1.4 น้ำแป้ง ละลายแป้ง (soluble starch) 2 กรัมในน้ำกลั่นที่ร้อนปริมาตร 100 ลบ.ซม. แล้วเติมกรดซาลิไซลิก (salicylic acid) 0.2 กรัม เพื่อให้เก็บได้นาน

2.1.5 สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 โมล/ลบ.ดม. ละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2SO_3.5H_2O$) 24.82 กรัม เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6 โมล/ลบ.ดม. จำนวน 6.0 ลบ.ซม. หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.6 กรัม แล้วทำให้เจือจางเป็น 1,000 ลบ.ซม. สารละลายนี้จะต้องหาความเข้มข้นที่แน่นอน (Standardization) ด้วยสารไบไอโอเดต จึงนำไปเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้น 0.0.25 โมล/ลบ.ดม.

2.1.6 สารละลายไบไอโอเดต 0.0021 โมล/ลบ.ดม. ละลาย $KH(IO3)_2$ 812.4 มก. แล้วเจือจางเป็น 1,000 ลบ.ซม.

2.2 การหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต

ละลาย KI ประมาณ 2 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 100-150 ลบ.ซม. เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3 โมล/ลบ.ดม. จำนวน 1 ลบ.ซม. หรือกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2-3 หยด และสารละลายมาตรฐานไบโอไอเดต 20.00 ลบ.ซม. แล้วทำให้เจือจางเป็น 200 ลบ.ซม. แล้วไทเทรตหาปริมาณไอโอดีนซึ่งถูกขับออกมาด้วยสารละลายมาตรฐานไทโอซัลเฟตที่เตรียมไว้ เติมน้ำแป้งเมื่อใกล้จุดยุติจะได้สารละลายสีเหลืองอ่อน ถ้าสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตมีความเข้มข้น 0.025 โมล/ลบ.ดม. ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตจะเท่ากับ 20.00 ลบ.ซม. ถ้าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตไม่ได้ค่าดังกล่าว ให้ปรับความเข้มข้นให้เท่ากับ 0.025 โมล/ลบ.ดม.

ข ภาคผนวก

ภาพ 26 รูปภาพกิจกรรม

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – นามสกุล	รัฐธนานุพนต์ ใจยะเขียว Mr. Ratthananuphon Jaiyakhiaow
หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน	1579900569800
วัน เดือน ปี เกิด	9 พฤศจิกายน 2537
ที่อยู่ปัจจุบัน	320 ม.11 ต.ท่าสุด อ.เมือง จ.เชียงราย 57100
เบอร์โทร	092-1037940
ที่ทำงานปัจจุบัน	-
ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน	นักศึกษาระดับปริญญาตรี
ประสบการณ์ทำงาน	ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ บริษัท ดอยคำผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2556 – พ.ศ.2559	กำลังศึกษาอยู่ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา
พ.ศ.2550 – พ.ศ.2555	มัธยมศึกษา โรงเรียนเม็งรายมหาราชวิทยาคม จังหวัดเชียงราย
พ.ศ.2544 – พ.ศ.2549	ประถมศึกษา โรงเรียนห้วยพลูพิทยาคม จังหวัดเชียงราย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – นามสกุล	จักรกฤษณ์ โทจรัญ
	Mr. Jakkrit Thocharun
หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน	1300600183551
วัน เดือน ปี เกิด	25 กรกฎาคม 2537
ที่อยู่ปัจจุบัน	116 หมู่ 3 ตำบลคลองเมือง อำเภอจักราช
	จังหวัดนครราชสีมา 30230
เบอร์โทร	086-4000207
ที่ทำงานปัจจุบัน	-
ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน	นักศึกษาระดับปริญญาตรี
ประสบการณ์ทำงาน	ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ บริษัท อีสเทิร์นไทยคอน
	ซัลติ้ง 1992 จำกัด

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2556 - พ.ศ.2559	กำลังศึกษาอยู่ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
	มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา
พ.ศ.2550 - พ.ศ.2555	มัธยมศึกษา โรงเรียนนารีนุกูล
	จังหวัดอุบลราชธานี
พ.ศ.2543 - พ.ศ.2549	ประถมศึกษา โรงเรียนบ้านพระนารายณ์
	จังหวัดนครราชสีมา